

3100099010844

27/8  
Anotasi  
8

# TUGAS AKHIR (NA.1701)

**ANALISA PENGARUH HEAT TREATMENT PADA PENGELASAN  
SMAW BAJA KEKUATAN TINGGI ( $60 \text{ kg/mm}^2$ ) TERHADAP  
KEKERASAN DAN KETANGGUHAN LASAN**

RSPe  
623.8432  
Muh  
A-1  
1996



OLEH :

**MUHYUDI.**  
**NRP. 491 410 0397**

**JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA**

1996

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	20 SEP 1996
Terima Dis	HT
No. Agenda	6541



# JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN

## FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN ITS

### SURAT KEPUTUSAN TUGAS AKHIR (NA 1701)

No. : 33 /PT12.FTK2/M/199 5

Nama Mahasiswa : .Muhyudi.....  
Nomor Pokok : 4914100397.....  
Tanggal diberikan tugas : 21 September 1995.....  
Tanggal selesai tugas : 01 Maret 1996.....  
Dosen Pembimbing : 1. Ir. Seoweify, M.Eng.....  
2. ....

#### Uraian / judul tugas akhir yang diberikan :

#ANALISA PENGARUH HEAT TREATMENT PADA PENGELASAN SMAW BAJA KEKUATAN TINGGI  
(60 kg/mm<sup>2</sup>) TERHADAP KEKERASAN DAN KETANGGUHAN LASAN#

sOn

Surabaya, 28 Oktober 1995  
Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS

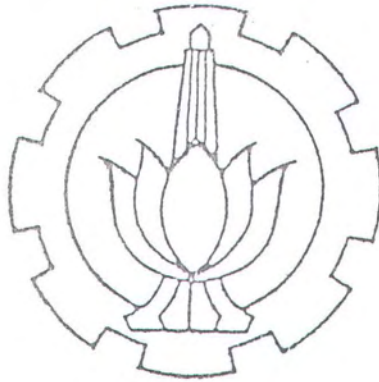


#### Tembusan :

1. Yth. Dekan FTK-ITS.
2. Yth. Dosen Pembimbing.
3. Arsip.

NIP. 130 532 029.

**LEMBAR PENGESAHAN**



**Surabaya , Maret 1996**

**Mengetahui / Menyetujui**

**Dosen Pembimbing**

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Soeweify', is written over a horizontal line.

**Ir. Soeweify, M.Eng.**

**NIP. 130 368 597**

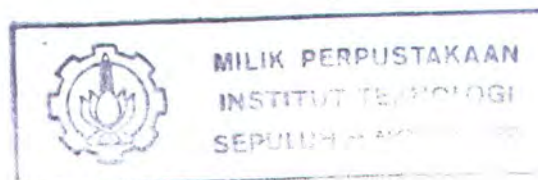


## ABSTRAK

Pada pengelasan baja karbon kekuatan tinggi ( High Tensile Steel ) memiliki resiko terjadinya pengrusakan sifat daerah las yang lebih besar jika dibanding pengelasan baja lunak ( Mild Steel ). Pengrusakan sifat daerah las ini meliputi perubahan struktur daerah las, retak las, dan penggetasan daerah las. Faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya pengrusakan sifat daerah las tersebut antara lain pengerasan daerah HAZ dan weld metal, hidrogen difusi pada daerah HAZ dan terjadinya tegangan pada sambungan las.

Dari teori-teori yang ada menyimpulkan bahwa pemberian perlakuan panas pada proses pengelasan baja karbon kekuatan tinggi merupakan alternatif yang paling tepat dalam usaha memperkecil pengrusakan sifat daerah las.

Dalam penelitian Tugas Akhir ini dilakukan analisa pengaruh perlakuan panas pada pengelasan baja karbon kekuatan tinggi (  $60 \text{ kg/mm}^2$  ) terhadap kekerasan dan ketangguhan hasil las. Dan dalam menganalisa ini dilakukan dengan cara membandingkan dari tiga macam specimen dengan perlakuan panas yang berbeda pada proses pengelasannya. Perlakuan panas yang dilakukan dalam proses pengelasannya yaitu, untuk specimen pertama mengacu pada Stress Relief Heat Treatment dari AWS , specimen kedua mengacu pada teori-teori dari buku yang ada dan specimen ketiga tanpa perlakuan panas. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan perlakuan panas yang paling sesuai untuk pengelasan baja karbon kekuatan tinggi.





## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT dengan telah terselesaikannya penulisan Tugas Akhir dengan judul , “ANALISA PENGARUH *HEAT TREATMENT* PADA PENGELASAN *SMAW* BAJA KEKUATAN TINGGI ( $60 \text{ kg/mm}^2$ ) TERHADAP KEKERASAN DAN KETANGGUHAN LASAN”. Tugas Akhir ini merupakan prasyarat dalam menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Perkapalan FTK - ITS.

Tak lupa penulis menyampaikan rasa terima kasih yang teramat dalam kepada :

1. Ibu, Bapak dan Kakak-kakak ku yang telah memberi dorongan moril maupun materiil sehingga pengerjaan Tugas Akhir ini berjalan lancar.
2. Bapak Ir. Soejitno dan Bapak Ir. Ahmad Zubaydi, M.Eng. selaku Ketua Jurusan dan Sekretaris Jurusan Teknik Perkapalan FTK - ITS.
3. Bapak Ir. Soeweify, M.Eng selaku Dosen Pembimbing , yang telah memberikan bimbingan, saran dan petunjuk dalam menyelesaikan penelitian dan penulisan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Ir. Heri Soepomo selaku Kepala Laboratorium Produksi FTK - ITS beserta seluruh stafnya yang telah memberi ijin dan membantu dalam penggunaan fasilitas lab. untuk pengerjaan dan pengelasan specimen.
5. Bapak Ir. Triwilaswandio W.P. Msc selaku Kepala Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan FTK - ITS beserta seluruh stafnya yang telah memberi ijin dan membantu dalam pengujian Impact.

6. Direktur Politeknik Perkapalan dan Teknisi Laboratorium Material Test dan Laboratorium Perkakas Dingin beserta seluruh stafnya yang telah memberi ijin dan membantu dalam melakukan pengerjaan specimen dan pengujian kekerasan.
7. Rekan Marsis Wahyu Santoso yang telah memberikan bantuan fasilitas komputasi selama penulisan Tugas Akhir ini dan rekan-rekan P-31 yang telah memberikan dukungan dan dorongan moril selama pengerjaan Tugas Akhir ini.

Sebagai akhir kata disini penulis menyadari sepenuhnya bahwa tulisan dan hasil penelitian ini masih jauh dari kesempurnaan. Karena itu penulis senantiasa mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun sehingga dapat mengembangkan hasil penelitian dan tulisan ini demi kemajuan bersama. Dan semoga tulisan ini berguna bagi kita semua.

Surabaya, Maret 1996

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>Abstrak .....</b>	<b>i</b>
<b>Kata Pengantar .....</b>	<b>ii</b>
<b>Daftar Isi .....</b>	<b>iii</b>
<b>Daftar Gambar .....</b>	<b>vii</b>
<b>Daftar Tabel .....</b>	<b>ix</b>
<b>Bab I Pendahuluan .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penulisan .....	3
1.3 Batasan Masalah .....	4
1.4 Metode Penyelesaian Masalah .....	4
<b>Bab II Metalurgi Pengelasan .....</b>	<b>5</b>
2.1 Proses Pengelasan SMAW .....	5
2.1.1 Bahan Fluks .....	6
2.1.2 Busur Listrik .....	7
2.2 Siklus Termal Las dan Pengaruhnya Terhadap Perubahan Struktur Mikro Dan Ketangguhan Daerah Lasan .....	7
2.2.1 Struktur Mikro Baja .....	7
2.2.2 Siklus Termal Daerah Lasan .....	10
2.2.3 Struktur Mikro Daerah Pengaruh Panas (HAZ) .....	11
2.3 Ketangguhan Daerah Lasan .....	15
2.3.1 Ketangguhan Dan Penggetasan Pada Daerah HAZ .....	15
2.3.2 Ketangguhan Logam Las .....	22



2.3.3 Penggetasan Pada Daerah Las Karena Pembebasan Tegangan .....	23
2.4. Retak Pada Daerah Las .....	25
2.4.1 Jenis Retak Las .....	25
2.4.2 Penyebab Retak Las .....	26
2.5 Tegangan Sisa .....	31
2.5.2 Pengaruh Tegangan Sisa Terhadap Patah Getas .....	32
2.5.3 Pengukuran Besarnya Tegangan Sisa .....	33
2.5.4 Pengurangan Dan Pembebasan Tegangan Sisa .....	34
<b>Bab III Pengelasan Baja Dan Kepatahan Lasan .....</b>	<b>37</b>
3.1 Klasifikasi Baja Karbon .....	37
3.1.1 Baja Lunak (Mild Steel) .....	37
3.1.2 Baja Kekuatan Tinggi (High Tensile Steel) .....	38
3.2 Pengelasan Baja Karbon .....	41
3.2.1 Pengelasan Baja Karbon Rendah .....	41
3.2.2 Pengelasan Baja Karbon Sedang Dan Karbon Tinggi .....	42
3.2.3 Pengelasan Baja Karbon Paduan .....	43
3.3 Perlakuan Panas Pada Proses Pengelasan .....	44
3.3.1 Perlakuan Panas Sebelum Pengelasan (Pre-Heat) .....	44
3.3.2 Perlakuan Panas Setelah Pengelasan (Post Weld Heat Treatment) .....	45
3.4 Pengukuran Kekuatan Sambungan Las .....	46
3.4.1 Kekuatan Tarik .....	46
3.4.2 Kekuatan Tumbuk .....	47
3.4.3 Kekerasan .....	47
3.5 Patahnya Konstruksi las .....	49

3.5.1 Patah Ulet .....	49
3.5.2 Patah Getas .....	50
3.6 Tahanan Patah Dan Cara Menanggulangi Patah Getas .....	51
<b>Bab IV Persiapan Dan Pelaksanaan Pengujian .....</b>	<b>54</b>
4.1 Pendahuluan .....	54
4.2 Persiapan Specimen .....	55
4.3 Prosedur Pengelasan Dan Perlakuan Panas .....	56
4.4 Pengujian Kekerasan (Hardness Test) .....	59
4.4.1 Hasil Uji Kekerasan Brinell .....	60
4.5 Pengujian Impact .....	64
4.5.1 Umum .....	64
4.5.2 Prosedur Pengujian Impact .....	67
4.5.3 Hasil Pengujian Impact .....	69
<b>Bab V Analisa Hasil Pengujian Dan Kesimpulan .....</b>	<b>70</b>
5.1 Pendahuluan .....	70
5.2 Analisa Hasil Pengujian .....	70
5.2.1 Analisa Hasil Uji Kekerasan .....	70
5.2.2 Analisa Hasil Uji Impact .....	77
5.3 Kesimpulan dan Saran .....	80
5.3.1 Kesimpulan .....	80
5.3.2 Saran .....	81
<b>Daftar Pustaka .....</b>	<b>82</b>
<b>Lampiran</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gbr. 2.1 Las Busur Dengan Elektroda Terbungkus .....	5
Gbr. 2.2 Pemindahan Logam Cair .....	5
Gbr. 2.3 Diagram Pendinginan Kontinu atau Diagram CCT (Baja ASTM 4340) .....	8
Gbr. 2.4 Struktur Mikro Dalam Baja Karbon Rendah .....	9
Gbr. 2.5 Siklus Termal Dalam Las Busur Tangan .....	11
Gbr. 2.6.a. Diagram CCT pada Pengelasan Baja Kekuatan BJ55 .....	12
Gbr. 2.6.b. Diagram CCT Baja BJ60 .....	12
Gbr. 2.7 Diagram CCT dan Hubungan Antara Waktu Pendinginan Dengan Kekerasan Dan Struktur .....	14
Gbr. 2.8 Skema Struktur Mikro pada Daerah HAZ .....	17
Gbr. 2.9 Hubungan Antara Waktu Pendinginan , Struktur Mikro dan Kekuatan Tumbuk pada Daerah HAZ .....	19
Gbr. 2.10 Perhitungan Waktu Pendinginan Kontinu dari 800°C ke 500°C pada Pengelasan Busur Tangan .....	20
Gbr. 2.11 Pengaruh Masukan Panas pada Sifat Tumbuk .....	21
Gbr. 2.12 Beberapa Contoh Retak Dingin .....	25
Gbr. 2.13 Beberapa Contoh Retak Panas .....	26
Gbr. 2.14 Pembentukan Tegangan Sisa .....	32
Gbr. 2.15 Pengaruh Tegangan Sisa pada Tegangan Patah Pelat Uji Dengan Takikan ..	33
Gbr. 2.16 Hubungan Antara Suhu Anil untuk Pembebasan Tegangan dan Penurunan Tegangan Sisa .....	36



Gbr. 3.1 Hubungan Antara Kekerasan Maksimum pada Daerah HAZ dan Kadar Karbon dalam Baja Karbon .....	42
Gbr. 3.2 Batang Uji dan Patahan dari Uji Tumbuk Charpy .....	47
Gbr. 3.3 Deformasi Slip dan Lembar yang Terjadi Dalam Kristal .....	49
Gbr. 3.4 Patah Ulet dan Patah getas .....	49
Gbr. 3.5 Terjadinya Patahan Ulet .....	49
Gbr. 3.6 Keadaan Transisi pada Patahan .....	51
Gbr. 3.7 Hubungan Antara Prosetase Patah Getas dan Energi yang Diserap dengan Temperatur Pengujian (Charpy Takik V) .....	52
Gbr. 3.8 Kurva Energi - Temperatur untuk Beberapa Baja (Charpy V) .....	52
Gbr. 4.1 Pembagian Material untuk Pemotongan .....	55
Gbr. 4.2 Pengambilan Specimen Uji dari Material Lasan .....	56
Gbr. 4.3 Persiapan Sisi Specimen .....	56
Gbr. 4.4 Penentuan Titik Uji Kekerasan .....	59
Gbr. 5.1 Posisi dan Daerah Titik Uji Kekerasan .....	70
Gbr. 5.2 Grafik Kekerasan - Daerah dan Posisi Specimen I .....	71
Gbr. 5.3 Grafik Kekerasan - Daerah dan Posisi Specimen II .....	72
Gbr. 5.4 Grafik Kekerasan - Daerah dan Posisi Specimen III .....	72
Gbr. 5.5 Grafik Rata-rata Kekerasan - Specimen .....	75
Gbr. 5.6 Grafik Kuat Impact Specimen .....	77
Gbr. 5.7 Penampang Samping Specimen Setelah Diuji Impact .....	79
Gbr. 5.8 Penampang Hasil Uji Impact .....	79

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Suhu Transisi dan Kriteria Patahan .....	16
Tabel 2.2 Suhu Perlakuan Panas Akhir .....	24
Tabel 2.3 Cara Pengurangan atau Pembebasan Tegangan Sisa .....	35
Tabel 2.4 Kondisi Pembebasan Tegangan dengan Cara Anil untuk Baja Karbon .....	36
Tabel 3.1 Suhu Pemanasan Mula pada Pengelasan Baja Karbon Sedang dan Baja Karbon Tinggi .....	43
Tabel 4.1 Nilai Uji Kekerasan pada Base Metal .....	61
Tabel 4.2 Nilai Uji Kekerasan pada HAZ .....	62
Tabel 4.3 Nilai Uji Kekerasan pada Batas Antara Weld Metal dan HAZ .....	63
Tabel 4.4 Nilai Uji Kekerasan pada Weld Metal .....	64
Tabel 4.5 Hasil Uji Impact dengan Notch pada Weld Metal .....	69
Tabel 4.6 Hasil Uji Impact dengan Notch pada HAZ .....	69
Tabel 5.1 Prosentase dan Sudut Patahan Hasil Uji Impact .....	79

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG

Baja kekuatan tinggi ( high tensile steel ) merupakan baja karbon tinggi dengan kuat tarik antara  $50 \text{ kg/mm}^2$  sampai  $100 \text{ kg/mm}^2$  ( dalam pembahasan selanjutnya digunakan istilah BJ50 atau BJ100 ). Sedangkan baja karbon adalah paduan antara besi dan karbon dengan sedikit Si , Mn , P , S dan Cu. Kadar karbon yang tinggi menyebabkan kekuatan dan kekerasannya juga tinggi tapi sifat kemulurannya turun. Karena kuat tariknya yang relatif tinggi sehingga baja ini banyak digunakan pada struktur offshore, bejana tekan ( pressure vessel ), boiler dan konstruksi lain pada kapal yang memerlukan kekuatan tinggi. Selain karena kuat tariknya yang tinggi juga karena pemakaian baja kekuatan tinggi memerlukan luas penampang yang kecil jika dibanding dengan baja lunak untuk keperluan kekuatan yang sama. Sehingga dengan demikian akan mengurangi ketebalan pelat dan menyederhanakan proses pengelasan dan akhirnya memberikan penghematan bahan dan keuntungan yang lebih besar.

Namun demikian pada konstruksi-konstruksi tersebut tidak jarang terjadi kerusakan konstruksi pada daerah sambungan las yang diakibatkan oleh terjadinya patah getas. Setelah diamati patah getas ini ternyata disebabkan oleh adanya retak-retak halus pada daerah pengaruh panas ( HAZ ). Dari penelitian menyimpulkan bahwa penyebab utamanya adalah merjalarnya patah getas yang disebabkan oleh adanya cacat las seperti retak halus dan tegangan sisa dalam bahan yang terjadi pada waktu pengelasan. Penelitian selanjutnya



menunjukkan bahwa sifat-sifat bahan yang digunakan terutama kepekaan terhadap takik dan retak las memegang peranan penting dalam patah getas.

Pengelasan baja kekuatan tinggi mempunyai resiko terjadinya pengrusakan sifat daerah las yang lebih besar jika dibanding pengelasan baja lunak ( mild steel ). Atau dengan kata lain sifat mampu las baja kekuatan tinggi lebih jelek dibanding sifat mampu las baja lunak. Karena itu pengawasan prosedur dan kondisi pengelasan baja ini harus ketat. Pengrusakan sifat daerah las ini meliputi :

1. Perubahan struktur daerah las ; yang terjadi selama proses pengelasan dan disebabkan karena adanya pemanasan dan pendinginan yang cepat sehingga daerah HAZ menjadi keras.
2. Retak las ; yang merupakan cacat paling berbahaya didalam konstruksi las karena itu hal ini harus dihindari sejauh mungkin.
3. Penggetasan daerah las ; yang mana hal ini sangat dipengaruhi masukan panas (heat input) pada proses pengelasannya.

Sehingga perlu dilakukan langkah-langkah pencegahan dalam proses pengelasan baja kekuatan tinggi untuk menghindari pengrusakan sifat daerah las.

Secara umum terdapat tiga faktor yang menyebabkan pengrusakan sifat daerah las, yaitu :

1. Pengerasan daerah HAZ , hal ini sangat dipengaruhi oleh komposisi baja terutama kandungan karbon dan kecepatan pendinginan setelah proses pengelasannya. Sehingga perlu dilakukan pemilihan material dan perlakuan panas yang tepat untuk menghindari pengerasan daerah HAZ ini.

2. Hidrogen difusi pada daerah HAZ , hal ini dapat dihindari dengan penggunaan elektroda dengan fluks yang mempunyai kadar hidrogen rendah dan perlakuan panas pada proses pengelasannya untuk memperlambat kecepatan pendinginan.
3. Terjadinya tegangan pada sambungan las , hal ini sangat dipengaruhi oleh rancangan daerah sambungan las termasuk ketebalan pelat dan proses pengelasan yang digunakan.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa pemberian perlakuan panas pada proses pengelasan baja kekuatan tinggi merupakan alternatif yang paling tepat dalam usaha memperkecil pengrusakan sifat daerah las.

Masalahnya sekarang bagaimana perlakuan panas yang paling sesuai pada pengelasan baja kekuatan tinggi sehingga diperoleh sambungan las yang kuat atau memiliki sifat mekanik yang sama dengan logam induk. Hal inilah yang melatar belakangi penulisan Tugas Akhir ini , selain itu juga akan dianalisa seberapa besar pengaruh perbaikan yang diberikan terhadap kekerasan dan ketangguhan hasil las.

## 1.2 TUJUAN PENULISAN

Tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah :

1. Menganalisa pengaruh dari perlakuan panas terhadap kekerasan dan ketangguhan lasan.
2. Menentukan perlakuan panas yang paling sesuai pada proses pengelasan baja kekuatan tinggi (  $60 \text{ kg/mm}^2$  ) sehingga diperoleh kualitas sambungan las yang sama atau mendekati logam induk.



### 1.3 BATASAN MASALAH

Karena kompleksnya permasalahan ini dan agar pembahasan tidak menyimpang dari tujuan yang sebenarnya serta untuk menyederhanakan permasalahan maka diambil batasan-batasan sebagai berikut :

1. Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik sambungan las meliputi :
  - Uji impact yang dilakukan pada suhu  $0^{\circ}\text{C}$  ( standar pengujian ASTM E-23 )
  - Uji kekerasan Brinell ( standar pengujian ASTM ).
2. High Tensile Steel yang digunakan dalam pengujian ini diambil EMS-45 produksi BOHLER ( baja kekuatan  $60 \text{ kg/mm}^2$  ), kandungan karbon 0.44 % , ketebalan 15 mm.
3. Yang diamati dalam penelitian ini hanyalah pengaruh dari perubahan perlakuan panas terhadap kekerasan dan ketangguhan lasan.

### 1.4 METODE PENYELESAIAN MASALAH

Metode penyelesaian yang digunakan dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah :

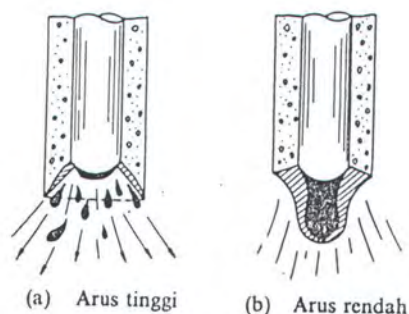
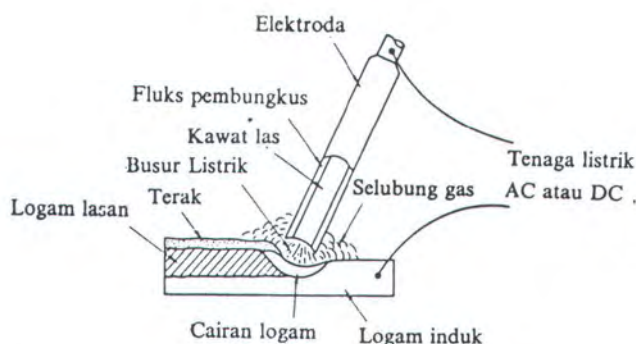
- Studi Literatur , untuk mendapatkan pengaruh perlakuan panas terhadap perubahan struktur mikro dan hubungannya dengan pembentukan sifat mekanik.
- Melalui eksperimen , untuk mengetahui kekuatan sambungan las.
- Selanjutnya dari hasil eksperimen dilakukan studi perbandingan, sehingga didapatkan perlakuan panas yang paling sesuai untuk pengelasan baja kekuatan tinggi.



## BAB II. METALURGI PENGELASAN

### 2.1. PROSES PENGELASAN SMAW

*SMAW* ( *Shield Metal Arc Welding* ) atau disebut juga las elektroda terbungkus merupakan proses pengelasan dengan memanfaatkan proses panas yang dihasilkan dari tenaga listrik yang terjadi diantara ujung elektroda dan logam induk. Dalam cara pengelasan ini digunakan kawat elektroda logam yang dibungkus dengan fluks. Dalam Gbr. 2.1 dapat dilihat bahwa busur listrik terbentuk diantara logam induk dan ujung elektroda. Karena panas dari busur ini maka logam induk dan ujung elektroda tersebut mencair dan kemudian membeku bersama. Proses pemindahan logam elektroda terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan membentuk butir-butir yang terbawa oleh arus busur listrik yang terjadi. Bila digunakan arus listrik yang besar maka butiran logam cair yang terbawa menjadi halus seperti terlihat dalam Gbr. 2.2 (a) , sebaliknya bila arusnya kecil maka butiranya menjadi besar seperti tampak dalam Gbr. 2.2 (b).

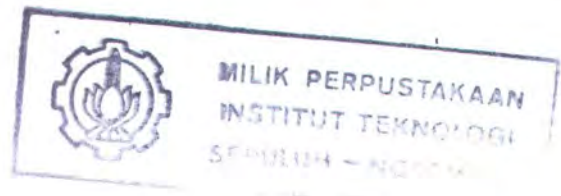


Gbr. 2.1 LasBusur dengan ElektrodaTerbungkus

Gbr.2.2 Pemindahan Logam Cair

Pola pemindahan logam cair seperti diterangkan diatas sangat mempengaruhi sifat mampu las dari logam. Secara umum dapat dikatakan bahwa logam mempunyai sifat mampu las tinggi bila pemindahan terjadi dengan butiran yang halus. Sedangkan pola pemindahan cairan dipengaruhi oleh besar kecilnya arus seperti diterangkan diatas dan juga oleh komposisi dari bahan fluks yang digunakan. Selama proses pengelasan bahan fluks yang digunakan untuk membungkus elektroda mencair dan membentuk terak yang kemudian menutupi logam cair yang terkumpul ditempat sambungan dan bekerja sebagai penghalang oksidasi. Dalam beberapa fluks bahannya tidak dapat terbakar, tetapi berubah menjadi gas yang juga menjadi pelindung dari logam cair terhadap oksidasi dan pemantaban busur.

Di dalam pengelasan *SMAW* ini hal yang penting adalah bahan fluks dan jenis listrik yang digunakan. Karena pentingnya hal tersebut maka bahan fluks dan jenis listrik akan dibahas terpisah.



### 2.1.1 BAHAN FLUKS

Didalam las elektroda terbungkus fluks memegang peranan penting karena fluks dapat bertindak sebagai :

1. Pemantap busur dan penyebab kelancaran pemindahan butir-butir cairan logam.
2. Sumber terak atau gas yang dapat melindungi logam cair terhadap udara disekitarnya.
3. Pengatur penggunaan.
4. Sumber unsur-unsur paduan.

Fluks biasanya terdiri dari bahan-bahan tertentu dengan perbandingan yang tertentu pula. Bahan-bahan yang digunakan dapat digolongkan dalam bahan pemantaban busur, pembuat terak, penghasil gas, deoksidator, unsur paduan dan bahan pengikat. Bahan-bahan



tersebut antara lain oksida-oksida logam, karbonat, silikat, fluorida, zat organik, baja paduan dan serbuk besi.

### **2.1.2 BUSUR LISTRIK**

Dalam las elektroda terbungkus busurnya ditimbulkan dengan menggunakan listrik arus AC atau listrik arus DC. Tetapi karena pertimbangan harga, mudahnya penggunaan dan sederhananya perawatan, maka listrik arus AC lebih banyak dipergunakan. Keunggulan penggunaan listrik arus DC adalah mantapnya busur yang ditimbulkan, sehingga sangat sesuai untuk pengelasan pelat-pelat yang tipis. Disamping mantapnya busur juga ternyata bahwa generator arus searah dapat digerakkan dengan mudah dengan motor-motor bakar. Hal ini menyebabkan mesin las busur listrik DC banyak digunakan dilapangan dimana sumber listrik tidak tersedia.

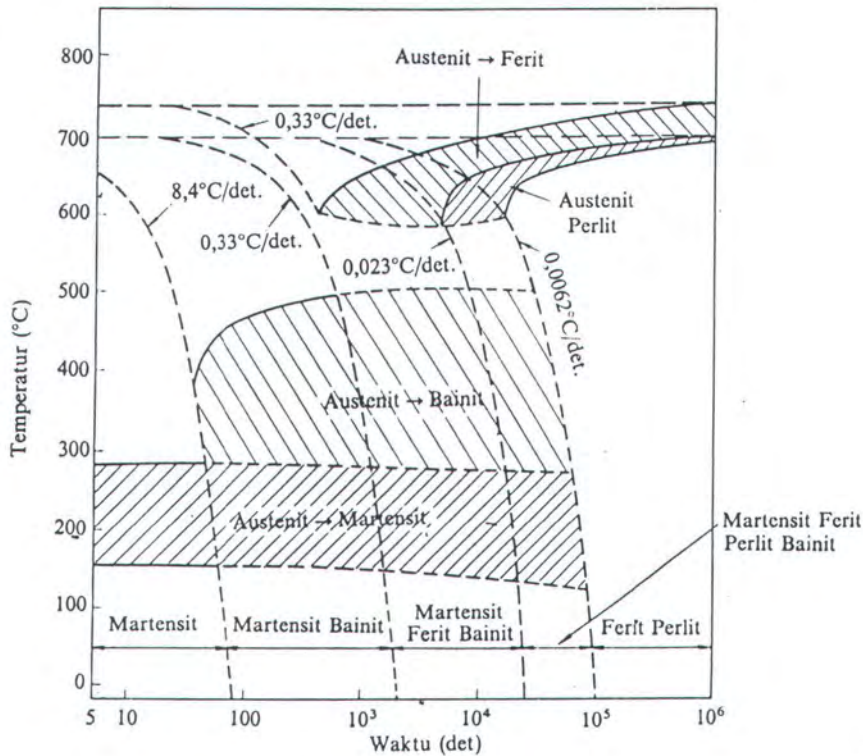
## **2.2. SIKLUS TERMAL DAN PENGARUHNYA TERHADAP PERUBAHAN STRUKTUR MIKRO DAN KETANGGUHAN DAERAH LASAN**

### **2.2.1 STRUKTUR MIKRO BAJA**

Pada umumnya struktur mikro dari baja tergantung dari kecepatan pendinginannya dari suhu daerah austenit sampai ke suhu kamar [ref.4]. Karena perubahan struktur ini maka dengan sendirinya sifat-sifat mekanik yang dimiliki juga berubah. Hubungan antara kecepatan pendinginan dan struktur mikro yang terbentuk biasanya digambarkan dalam diagram yang menghubungkan waktu, suhu dan transformasi yang biasanya disebut diagram



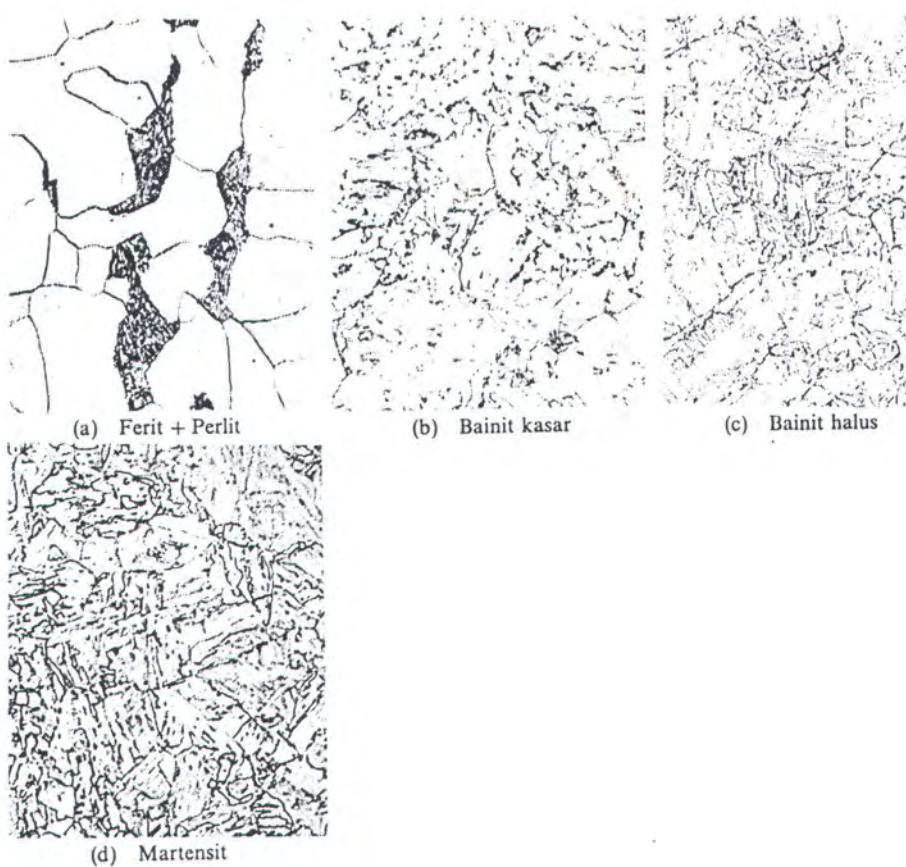
CCT (Continuous Cooling Transformation ). Contoh dari diagram ini untuk baja ASTM 4340 ditunjukkan dalam Gbr. 2.3.



**Gbr. 2.3 Diagram Pendinginan Kontinu atau diagram CCT ( baja ASTM 4340 )**

Dari gambar dapat dilihat bahwa bila kecepatan pendinginan naik yang berarti waktu pendinginan dari suhu austenit turun, struktur akhir yang terjadi berubah dari campuran ferit-perlit ke campuran ferit-perlit-bainit-martensit, ferit-bainit-martensit, kemudian bainit-martensit dan akhirnya pada kecepatan yang tinggi sekali struktur akhirnya adalah martensit. Dalam Gbr 2.4 ditunjukkan struktur mikro dari campuran ferit-perlit, bainit kasar yang dihasilkan pada temperatur tinggi, bainit halus yang dihasilkan pada sekitar suhu martensit atau titik Ms dan martensit sempurna. Kekuatan baja ferit-perlit sangat tergantung pada

ukuran butir ferit. Disamping hubungannya dengan kekuatan, ternyata bahwa besar butir juga mempengaruhi energi patah (uji Charpy) dan perambatan retak.



**Gbr. 2.4 Struktur Mikro dalam Baja Karbon Rendah**

Penelitian-penelitian menunjukkan bahwa makin halus butir-butir kristal makin rendah suhu transisi ulet getasnya. Karena itu tindakan memperhalus butir adalah tindakan yang sangat tepat dalam usaha memperbaiki kekuatan dan ketangguhan baja ferit-perlit.

Penghalusan butir pada baja kekuatan tinggi dilakukan dengan pendinginan cepat dari suhu austenit yang diikuti dengan proses penemperan yang dapat menghasilkan martensit temper atau bainit temper yang kedua-duanya sangat halus dan mempunyai kekuatan dan ketangguhan yang sangat tinggi. Dalam melaksanakan penghalusan butir



dengan perlakuan panas seperti di atas perlu diingat bahwa bila suhu tempemnya rendah , dislokasi-dislokasi yang terjadi selama proses transformasi hanya sedikit yang hilang, sehingga ketangguhan baja menurun.

### 2.2.2 SIKLUS TERMAL DAERAH LASAN

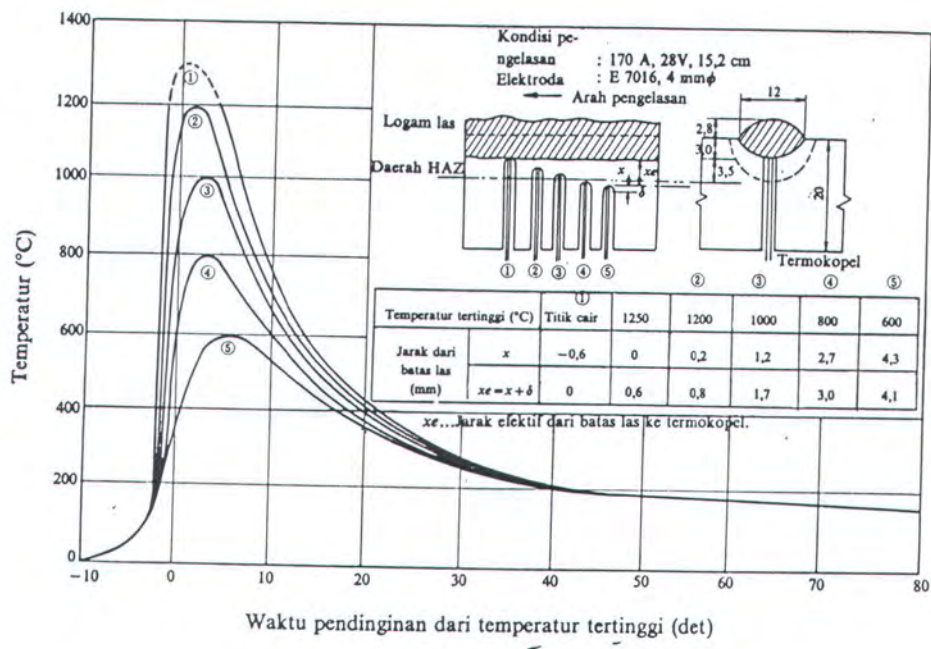
Daerah lasan terdiri dari 3 bagian yaitu logam lasan, daerah pengaruh panas yang dalam bahasa Inggrisnya adalah “ *Heat Affected Zone* “ dan disingkat HAZ , dan logam induk yang tak terpengaruh panas. Logam las adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Daerah pengaruh panas atau daerah HAZ adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat. Logam induk tak terpengaruh panas adalah bagian dari logam dasar dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat. Disamping ketiga pembagian utama tersebut masih ada satu daerah khusus yang membatasi antara logam las dan daerah pengaruh panas, yang disebut batas las.

Siklus termal las adalah proses pemanasan dan pendinginan di daerah lasan[ref.4]. Sebagai contoh dalam Gbr. 2.5 , ditunjukkan siklus termal daerah lasan dari las busur listrik dengan elektroda terbungkus lasan dengan kondisi pengelasan yang berbeda.

Lamanya pendinginan dalam suatu daerah temperatur tertentu dari suatu siklus termal las sangat mempengaruhi kualitas sambungan. Karena itu banyak sekali usaha-usaha pendekatan untuk menentukan lamanya waktu pendinginan tersebut. Struktur mikro dan sifat mekanik dari daerah HAZ sebagian tergantung pada lamanya pendinginan dari temperatur 800°C sampai 500°C. Sedangkan retak dingin dimana hidrogen memegang peranan penting,



terjadinya sangat tergantung oleh lamanya pendinginan dari temperatur 800°C sampai 300°C atau 100°C.



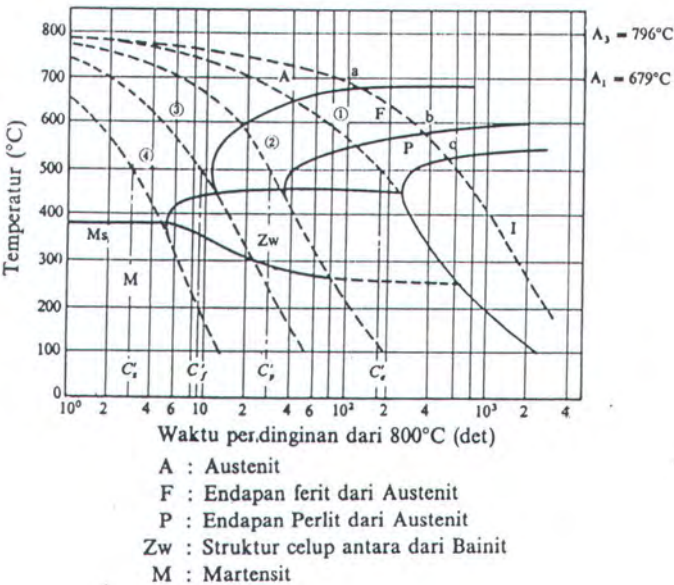
Gbr. 2.5 Siklus Termal dalam Las Busur Tangan

2.2.3 STRUKTUR MIKRO DAERAH PENGARUH PANAS ( HAZ )

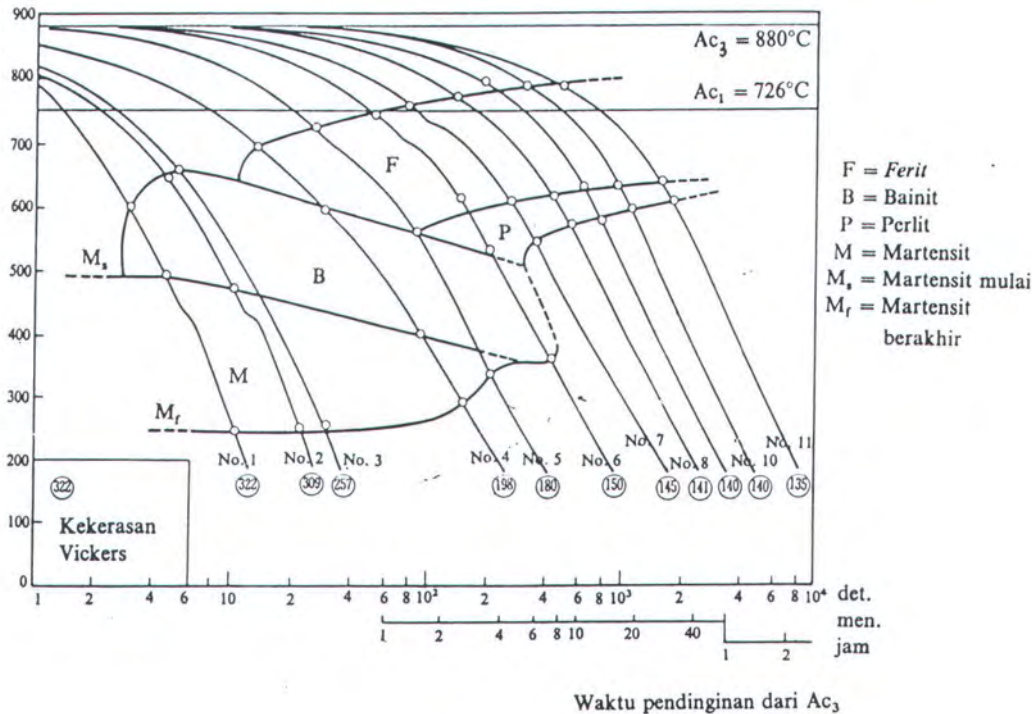
Struktur, kekerasan dan berlangsungnya transformasi dari daerah HAZ dapat dibaca dengan segera pada diagram trasformasi pendinginan berlanjut atau diagram CCT. Diagram semacam ini dapat digunakan untuk membahas pengaruh struktur terhadap retak las, keuletan dan lain sebagainya, yang kemudian dapat dipakai untuk menentukan prosedur dan cara pengelasan.

Sebagai contoh dari diagram CCT ditunjukkan dalam Gbr. 2.6.(a). Disini ditunjukkan hubungan antara suhu mula dan suhu akhir transformasi dengan lama pendinginan dari 800°C ( garis tebal ), untuk baja kuat ( 55 kg/mm<sup>2</sup> ) yang dipanaskan dengan cepat ke temperatur 1300°C dan kemudian didinginkan dengan bermacam-macam

kecepatan pendinginan. Garis putus menunjukkan beberapa contoh siklus termal las, yang bila digabung dengan garis tebal dari diagram CCT seperti yang ditunjukkan dalam



Gbr. 2.6.(a) Diagram CCT pada pengelasan baja kekuatan BJ55



Gbr. 2.6.(b) Diagram CCT Baja BJ60



Gbr. 2.6.(a), dapat menunjukkan tahap-tahap transformasi selama pendinginan dan dapat dipakai untuk meramalkan struktur akhir yang akan terbentuk. Sedang Gbr. 2.6.(b) menunjukkan diagram CCT untuk baja kuat ( 60 kg/mm<sup>2</sup> ) yang merupakan material uji dalam penelitian tugas akhir ini.

Sebagai contoh misalnya Gbr. 2.6.(a) dalam hal siklus termal las 1, bila baja telah mendingin sampai titik a (  $\pm 680^{\circ}\text{C}$  ) maka ferit mulai diendapkan dari austenit. Transformasi ini berjalan terus dan baru berakhir bila titik b (  $\pm 590^{\circ}\text{C}$  ) dicapai dan kemudian diganti dengan transformasi pengendapan perlit yang akan berakhir pada titik c (  $\pm 520^{\circ}\text{C}$  ). Dari pembahasan diatas dapat diramalkan bahwa setelah pendinginan struktur yang terbentuk adalah ferit dan perlit.

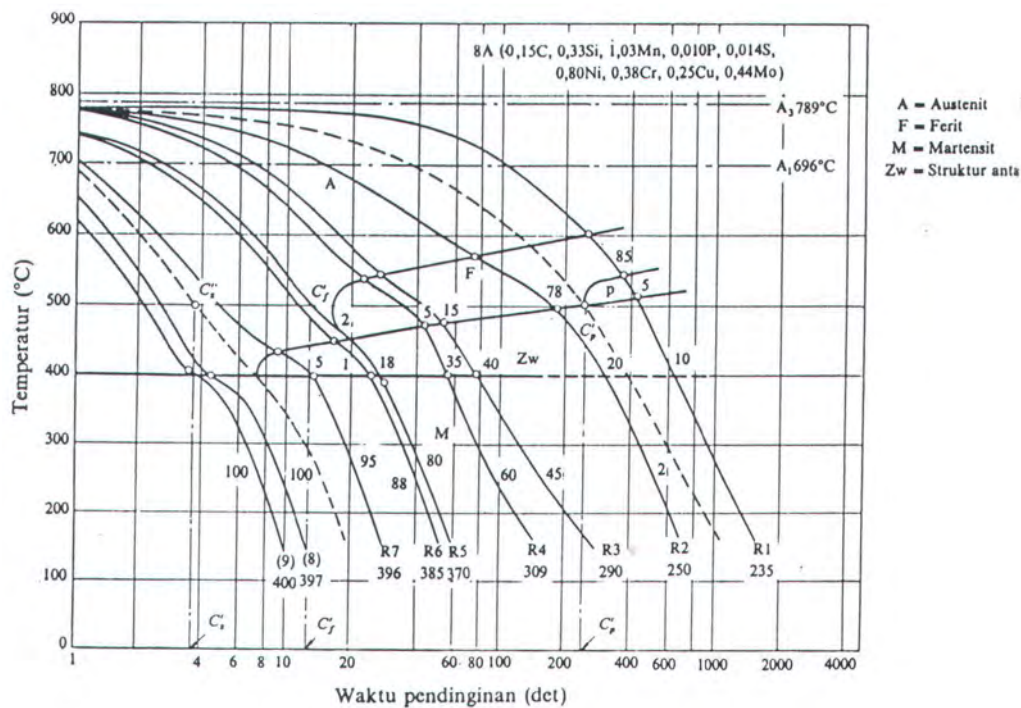
Dengan analisa yang sama, dapat diramalkan bahwa setelah pendinginan akan terbentuk struktur sebagai berikut :

1. Dengan siklustermal las antara (1) dan (2) akan terbentuk ferit, struktur antara dan martensit.
2. Dengan siklus termallas antara (2) dan (3) akan terbentuk ferit, struktur antara dan martensit.
3. Dengan siklus termal las antara (3) dan (4) akan terbentuk struktur antara dan martensit.
4. Dengan pendinginan lebih cepat dari (4) akan terbentuk martensit.

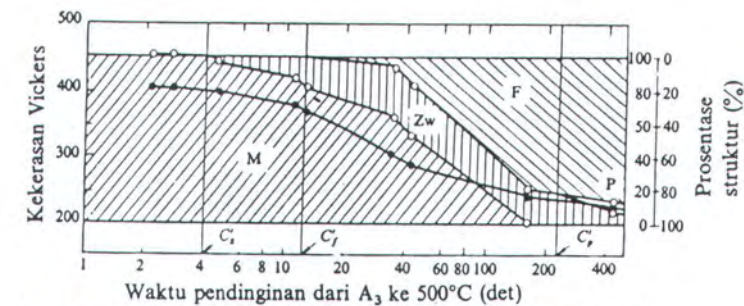
Karakteristik dari siklus termal las (1), (2), (3) dan (4) ini dalam bentuk lamanya waktu pendinginan dari temperatur  $800^{\circ}\text{C}$  ke  $500^{\circ}\text{C}$  masing-masing adalah 200 detik (ditunjukkan oleh  $C'_e$  dalam diagram) 32 detik ( $C'_p$ ), 9.6 detik ( $C'_f$ ) dan 3 detik ( $C'_z$ ).

Biasanya diagram transformasi pendinginan berlanjut menunjukkan juga kekerasan yang akan dimiliki oleh baja setelah mendingin mengikuti suatu siklus termal tertentu.





(a) Diagram CCT.



(b) Hubungan antara waktu pendinginan dengan kekerasan dan struktur.

Gbr. 2.7 Diagram CCT dan Hubungan antara Waktu Pendinginan dengan Kekerasan dan Struktur.

Karena itu dengan mengukur waktu pendinginan dari 800°C sampai 500°C dan menggabungkan dengan diagram CCT dari baja yang sama, maka struktur dan kekerasan baja pada daerah HAZ sudah dapat ditentukan.

Diagram transformasi pendinginan berlanjut untuk baja kekuatan  $60 \text{ kg/mm}^2$  ditunjukkan dalam Gbr. 2.7. Dalam Gbr. (b) ditunjukkan hubungan antara prosentase struktur dan kekerasan baja yang didapat dengan melalui beberapa macam waktu pendinginan ( dari  $787^\circ\text{C}$  sampai  $500^\circ\text{C}$  ) seperti yang ditunjukkan dalam Gbr (a).

Diagram semacam ini memungkinkan untuk mengetahui kecepatan terbentuknya struktur, kekerasan dan lain sebagainya yang terjadi karena pengelasan. Diagram transformasi pendinginan berlanjut dapat berubah karena berubahnya temperatur maksimum yang terjadi. Pada umumnya bila temperatur maksimum naik, kurva-kurva yang menunjukkan terjadinya struktur-struktur tertentu didalam diagram bergerak ke kanan yang mengarah pada pemantapan pembentukan martensit. Bila ini terjadi jelas bahwa hasil pengelasan menjadi lebih keras.

### 2.3. KETANGGUHAN DAERAH LASAN

#### 2.3.1 KETANGGUHAN DAN PENGGETASAN PADA DAERAH HAZ

Kepekaan terhadap patah getas adalah masalah besar pada baja. Bila patah getas ini terjadi pada baja dengan daya tahan yang rendah, patahan tersebut dapat merambat dengan kecepatan sampai  $2000 \text{ m/detik}$  , yang dapat menyebabkan kerusakan dalam waktu yang sangat singkat sekali. Dalam hal sambungan las, patah getas ini menjadi lebih penting lagi karena adanya faktor-faktor yang membantu seperti : konsentrasi tegangan, struktur yang tidak sesuai dan adanya cacat dalam lasan. Berhubung dengan hal ini, maka dalam usaha mempertinggi keamanan las, perlu adanya penilaian ketahanan daerah las terhadap patah getas.



### (1) Pengujian Ketangguhan Dari Daerah Las

Untuk menilai ketahanan daerah las terhadap patah getas perlu adanya pengujian yang juga mempertimbangkan faktor-faktor dinamis yang dapat mempengaruhi patah getas, seperti kecepatan regang, takik, tebal pelat, tegangan sisa, konsentrasi tegangan dan regangan dan lain sebagainya. Untuk menampung hal-hal dinamik ini perlu pengujian dengan skala besar, baik dalam jumlah maupun dimensi. Tetapi dipandang dari sudut ekonomi hal ini tidak mungkin dilakukan, karena itu dibuat pengujian skala kecil yang distandarkan yang disebut pengujian takik. Temperatur transisi dan kriteria pengujian takik ditunjukkan dalam Tabel 2.1[ref.4].

**Tabel 2.1 Suhu transisi dan Kriteria Patahan**

Perkiraan suhu transisi patahan getas	Berdasarkan energi yang diserap	<ul style="list-style-type: none"> <li>Suhu dimana energi yang diserap sampai patah atau energi yang diserap setelah beban maksimum terlampaui mencapai 1/2 dari energi maksimum yang mungkin terserap atau sama dengan harga rata-rata dari energi terserap yang maksimum dan minimum.</li> <li>Suhu dimana terjadi gradien energi yang tertinggi.</li> </ul>
	Berdasarkan penampakan patahan	<ul style="list-style-type: none"> <li>Suhu dimana luas patahan butir atau patahan getas mencapai 1/2 dari penampang semula.</li> <li>Suhu dimana ujung patahan serat atau patahan ulet mencapai 1/2 dari seluruh permukaan patah.</li> </ul>
Perkiraan suhu transisi patahan ulet	Berdasarkan energi yang diserap	<ul style="list-style-type: none"> <li>Suhu dimana energi yang diserap sebelum beban maksimum terlampaui mencapai 1/2 dari energi maksimum yang mungkin terserap atau sama dengan harga rata-rata dari energi terserap yang maksimum dan yang minimum.</li> <li>Suhu dimana terjadi gradien energi yang tertinggi.</li> <li>Suhu dimana energi yang terserap mencapai harga tertentu.</li> </ul>
	Berdasarkan ketangguhan	<ul style="list-style-type: none"> <li>Suhu dimana sudut tekuk pada beban maksimum turun dengan mendadak.</li> <li>Suhu dimana laju kontraksi patahan pada dasar kaki menurun atau mencapai harga prosentase tertentu.</li> </ul>
	Berdasarkan kekuatan	Suhu dimana kekuatan luluh sama dengan kekuatan tertinggi.
	Berdasarkan penampakan patahan	Suhu dimana patahan serat atau patahan ulet mulai terjadi atau mencapai suatu prosentase tertentu (rendah) terhadap seluruh luas permukaan patahan.

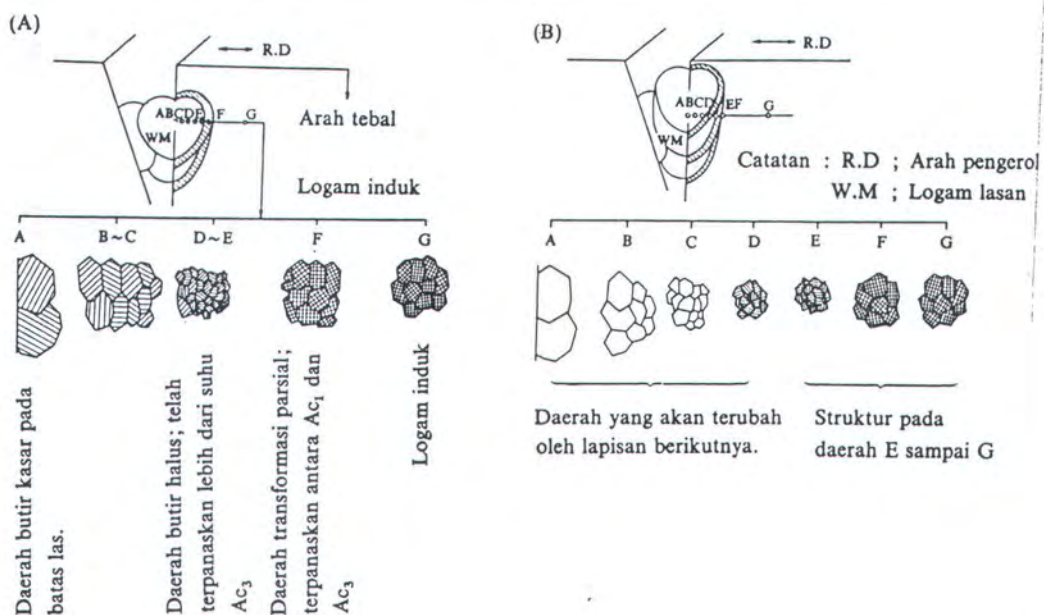


Uji tumbuk Charpy dengan takik V-2 mm merupakan yang paling umum digunakan untuk menentukan kekuatan takik skala kecil. Ketangguhan dari daerah las biasanya dinyatakan dengan energi yang diserap dan temperatur transisi patah. Uji kekuatan takik semacam ini banyak digunakan untuk menilai ketahanan terhadap patah getas dari pelat baja, logam las dan logam pada daerah pengaruh panas.

## (2) Ketangguhan Dan Penggetasan Batas Las

Struktur logam pada daerah pengaruh panas atau HAZ berubah secara berangsur dari struktur logam induk ke struktur logam las, seperti yang terlihat dalam Gbr. 2.8. Pada daerah HAZ yang dekat dengan garis lebur, kristalnya tumbuh dengan cepat dan membentuk butir-butir kasar. Daerah ini dinamakan batas las.

Di dalam daerah pengaruh panas, besar butir dan struktur berubah sesuai dengan siklus termal yang terjadi pada waktu pengelasan.



Gbr. 2.8 Skema Struktur Mikro pada Daerah Pengaruh Panas atau Daerah HAZ

Karena siklus termal yang terjadi sangat rumit maka dengan sendirinya perubahan ketangguhannya pun sangat rumit. Pada daerah batas las dimana butir-butirnya sangat kasar logam menjadi sangat getas dan disebut penggetasan batas las. Pada batas las ini terjadi konsentrasi tegangan yang disebabkan oleh diskontinuitas pada kaki manik las, takik las, retak las dan lain sebagainya. Kegetasan dari batas las ini disamping disebabkan oleh butir-butir yang kasar, mungkin juga karena cacat-cacat las atau titik-titik pusat konsentrasi tegangan yang ada didalamnya. Berhubung dengan hal tersebut, maka pengurangan peregangan pada batas las merupakan usaha yang sangat penting dalam menjamin ketangguhan sambungan las.

Seperti dalam pembahasan Sub-Sub Bab 2.2.2, ketangguhan yang terjadi tergantung pada suhu pemanasan maksimum dan kecepatan pendinginan dari 800°C sampai 500°C. Berdasarkan kecepatan pendinginan, perubahan struktur yang terjadi sebagai berikut

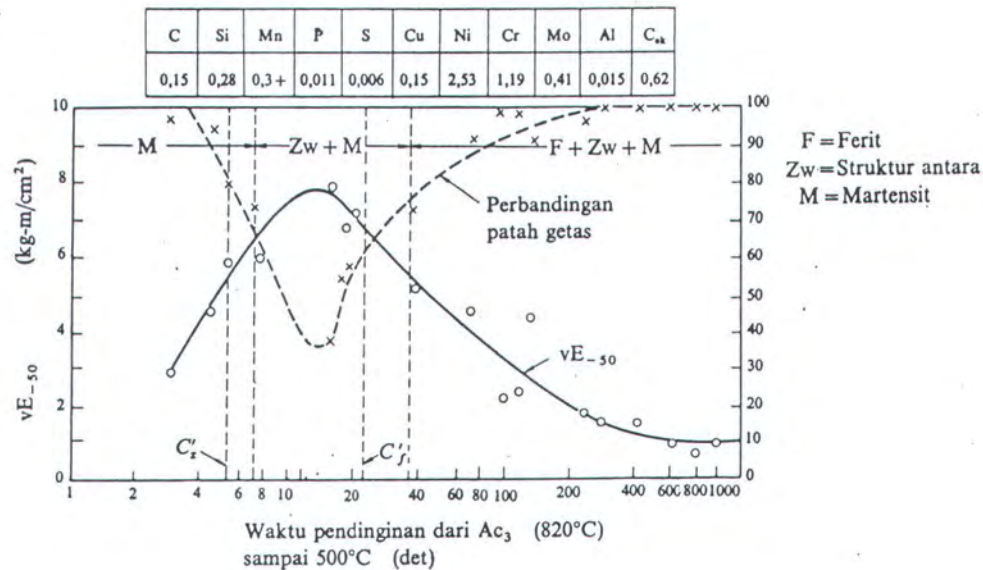
Martensit (M)  $\rightarrow$  bainit bawah  $\rightarrow$  bainit atas  $\rightarrow$  ferit (F) + perlit (P)

Bila didinginkan-cepatkan atau dicelup bainit bawah dan bainit atas akan membentuk struktur antara ( $Z_w$ ), sehingga perubahan struktur diatas dapat dituliskan sebagai berikut :

M  $\rightarrow$  ( $Z_w$ )  $\rightarrow$  (F + P)

Dalam Gbr. 2.9 ditunjukkan suatu contoh dari perubahan struktur dan harga uji Charpy yang dihubungkan dengan kecepatan pendinginan pada daerah las. Ketangguhan yang paling baik didapat bila terbentuk struktur ganda dari martensit dan bainit bawah. Sedangkan bila terjadi bainit atas dan ferit kasar ketangguhan baja menjadi sangat rendah. Perubahan struktur di atas disebabkan oleh perbedaan komposisi kimia dan perbedaan kecepatan pendinginan karena panas pengelasan, pemanasan mula, tebal pelat dan lain sebagainya. Semua faktor tersebut merubah besarnya penggetasan batas las secara rumit sekali.





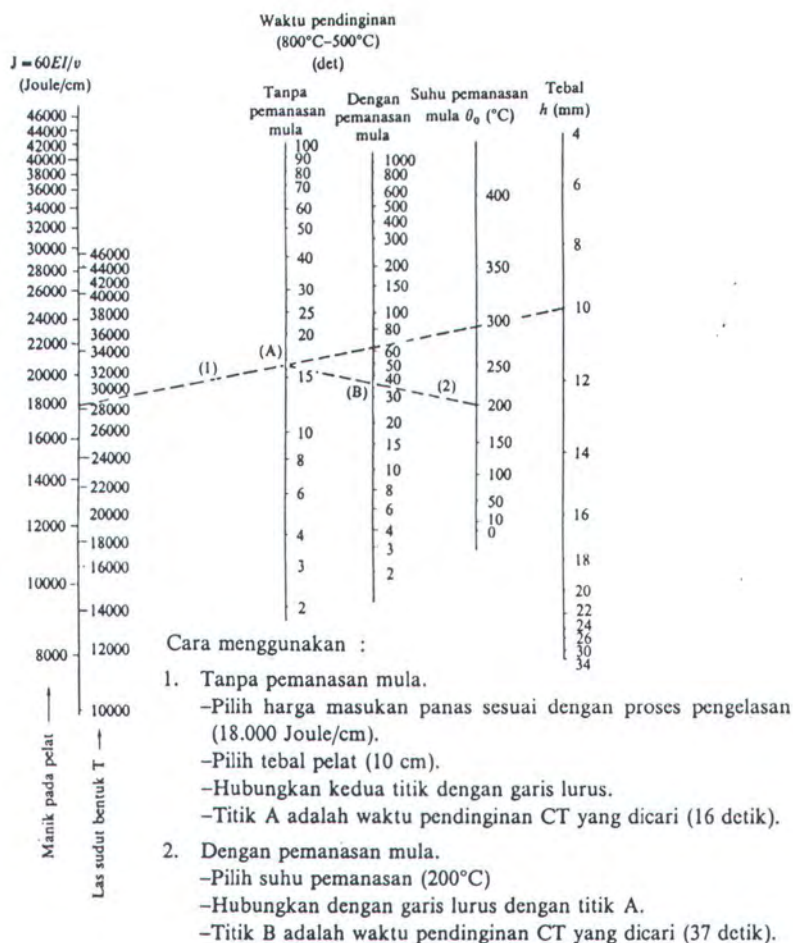
Gbr. 2.9 Hubungan antara Waktu Pendinginan, Struktur-Mikro dan Kekuatan Tumbuk pada daerah HAZ.

Dan sesuai dengan batasan masalah dalam penulisan tugas akhir ini faktor yang diamati hanya pengaruh dari perbedaan kecepatan pendinginan dan pemanasan mula.

Dalam memilih cara pengelasan serta meramalkan hubungan antara syarat pengelasan dan kecepatan pendinginan dari batas las monograf untuk menentukan waktu pendinginan seperti yang terlihat dalam Gbr. 2.10, akan sangat membantu.

Dengan diagram CCT dan nomograf penaksiran waktu pendinginan, dapat diduga struktur yang akan terjadi pada batas las dan kondisi pengelasan yang diperlukan untuk memperkecil penggetasan batas las.

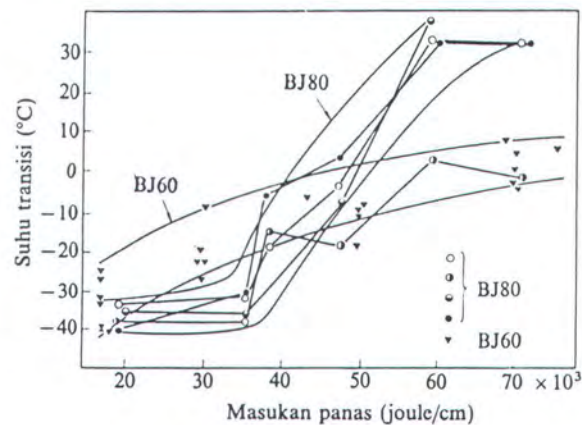




Gbr. 2.10 Perhitungan Waktu Pendinginan dari 800°C ke 500°C pada Pengelasan Busur dengan Tangan.

(3) Pengaruh Masukan Panas Las terhadap Penggetasan Batas Las

Penggetasan batas las disebabkan oleh tumbuhnya kristal menjadi butir-butir kasar atau karena terbetuknya struktur bainit atas. Dalam Gbr. 2.11 ditunjukkan hubungan antara ketangguhan batas las dan masukan panas dari baja kekuatan 60 kg/mm<sup>2</sup> dan 80 kg/mm<sup>2</sup> .



Gbr. 2.11 Pengaruh Masukan Panas pada Sifat Tumbuk.

#### (4) Cara-cara Untuk Menurunkan Penggetasan Batas Las

Penggetasan batas las pada umumnya dapat diturunkan dengan memperbaiki struktur daerah batas. Cara-cara yang dapat digunakan untuk keperluan tersebut adalah sebagai berikut :

1. Penggunaan baja yang kurang peka terhadap terhadap penggetasan batas las ; Cara yang banyak digunakan adalah mengurangi kadar paduan dan karbon dalam baja dan mempertinggi kadar nikel. Penurunan kadar unsur paduan dan karbon tidak hanya efektif untuk mengurangi penggetasan batas las tetapi juga sangat baik untuk menghindari terjadinya retak las.
2. Pembatasan masukan panas ; Pembatasan masukan panas digunakan juga sebagai suatu cara untuk mengurangi penggetasan batas las. Dengan masukan panas yang rendah ini dapat dicapai temperatur transisi uji takik Charpy dari batas las dibawah 0°C. Dalam hal ini jelas bahwa pemanasan mula yang berlebihan dengan tujuan untuk memperlambat pendinginan, tidak dikehendaki karena hal ini akan menambah besarnya

masukannya panas. Karena itu pemanasan mula harus diusahakan serendah mungkin asal cukup untuk menghindari terjadinya retak las.

3. Penurunan penggetasan melalui cara pengelasan ; Cara lain untuk menurunkan penggetasan batas las adalah memperbaiki struktur mikro yang terjadi dengan cara pemanasan kembali melalui panas las. Jadi dalam pengelasan lapis banyak sebenarnya secara tidak langsung telah dilakukan usaha penurunan penggetasan.

### **2.3.2 KETANGGUHAN LOGAM LAS**

Logam las adalah logam yang dalam proses pengelasan mencair dan kemudian membeku, sehingga logam las ini banyak sekali mengandung oksigen dan gas-gas lain. Komposisi logam las sangat tergantung pada proses pengelasan yang digunakan, tetapi dapat diperkirakan bahwa komposisinya akan terdiri dari komponen logam induk dan komponen bahan las yang digunakan. Karena itu dalam menganalisa ketangguhan logam las harus diperhatikan pengaruh unsur lain yang terserap selama proses pengelasan, terutama oksigen, dan pengaruh dari strukturnya sendiri.

#### ***(1) Pengaruh Oksigen***

Pada waktu logam las masih cair, oksidasi dihalangi oleh terak dan gas pelindung yang terbentuk oleh bahan pembungkus elektroda. Tetapi walaupun demikian penyerapan oksigen oleh logam cair tidak dapat dihalangi sepenuhnya, sehingga logam las lebih banyak mengandung oksigen bila dibanding dengan logam induk, sehingga terjadi perbedaan perbedaan keuletan antara keduanya. Pada umumnya oksigen akan membentuk butiran oksida dalam logam las dan menurunkan kekuatan tumbuk Charpy. Sama halnya seperti



oksigen, nitrogen diperkirakan juga banyak terserap kedalam logam las dan inipun menyebabkan berkurangnya ketangguhan.

### *(2) Pengaruh Struktur*

Pengaruh struktur logam las terhadap ketangguhan pada dasarnya sama saja seperti pada batas las. Tetapi karena logam las dalam proses pengelasan ini mencair dan kemudian membeku, maka kemungkinan besar terjadi pemisahan komponen yang menyebabkan terjadinya struktur yang tidak homogen. Jadi jelas bahwa kecuali terjadinya pemisahan, pengaruh struktur terhadap ketangguhan logam las sama saja seperti pengaruh struktur terhadap batas las yaitu struktur bainit atas dan ferit kasar menurunkan ketangguhan dan struktur bainit bawah dan mempertinggi ketangguhan.

### **2.3.3 PENGGETASAN PADA DAERAH LAS KARENA PEMBEBASAN TEGANGAN**

Pengelasan pada pelat-pelat tebal pada umumnya diikuti dengan pemanasan mendekati suhu rekristalisasi yang bertujuan menghilangkan tegangan sisa yang terjadi karena pengelasan, menurunkan kekerasan dari daerah las dan memperbaiki sifat-sifat lainnya. Perlakuan panas ini disebut pembebasan tegangan. Tabel 2.2 menunjukkan beberapa contoh tentang syarat-syarat pembebasan tegangan. Proses pembebasan tegangan ini dapat menurunkan ketangguhan sambungan las dan peristiwa ini disebut penggetasan bebas tegang. Proses pembebasan tegangan ini sebenarnya adalah proses penemperan baja yang menyebabkan terjadinya perubahan struktur dan pengendapan karbida.

Tabel 2.2 Suhu Perlakuan Panas Akhir ( $^{\circ}\text{C}$ )

No-P	Jenis Baja	ISO TC/11	ASME VIII-1	ASME VIII-2	JIS Z 3701-1976	HPI SR
P - 1	C - Baja	550 - 600	$\geq 593$	$\geq 593$	$625 \pm 25$	550-600
P - 3	C - 0.3 Mo	580 - 620	$\geq 593$	$\geq 593$	$625 \pm 25$	
P - 3	C - 0.5 Mo	580 - 620	$\geq 593$	$\geq 593$	$625 \pm 25$	$\geq 590$
P - 3	0.5 Cr - 0.5 Mo	620 - 660	$\geq 593$	$\geq 593$	$700 \pm 25$	$\geq 590$
P - 4	1 Cr - 0.5 Mo	620 - 660	$\geq 593$	$\geq 593$	$700 \pm 25$	$\geq 590$ $\geq 620$
P - 4	1.25 Cr - 0.5 Mo	620 - 660	$\geq 593$	$\geq 593$	$700 \pm 25$	$\geq 590$ $\geq 620$
P - 5	2.25 Cr - 1 Mo	625 - 750	$\geq 677$	$\geq 677$	$700 \pm 25$	$\geq 650$ $\geq 675$
P - 5	5 Cr - 0.5 Mo	670 - 740	$\geq 677$	$\geq 677$	$700 \pm 25$	$\geq 675$ $\geq 700$
P - 5	7 Cr - 0.5 Mo		$\geq 677$	$\geq 677$	$700 \pm 25$	
P - 5	9 Cr - 1 Mo		$\geq 677$	$\geq 677$	$700 \pm 25$	$\geq 675$ $\geq 700$
P - 9A	2 - 2.4 Ni		$\geq 593$	$\geq 593$		
P - 9B	3.5 Ni	550 - 580	$\geq 593$	621 - 635		
P - 10A	1.45 Mn - 0.10 V			$\geq 593$		
P - 10B	1 Cr - 0.15 V			$\geq 593$		
P - 12B SG-1	1.4 Mn - 0.5 Mo ( 0.5 - 0.8 Ni )		$\geq 593$			590-640

Karena pendinginan lambat yang dilakukan di dalam tungku maka terjadi pengasaran butir dan getas temper yang menurunkan ketangguhan.

Dengan penjelasan diatas dapat diperkirakan bahwa baja baja yang mengandung campuran V , Mo , Ti dan P akan mudah sekali kena penggetasan bebas tegang, karena V , Mo , Cr dan Ti menyebabkan terjadinya endapan selama proses temper.

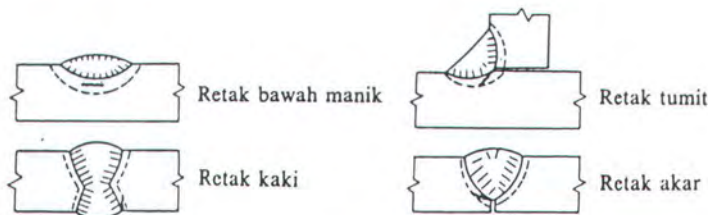


## 2.4 RETAK PADA DAERAH LAS

### 2.4.1 Jenis Retak Las

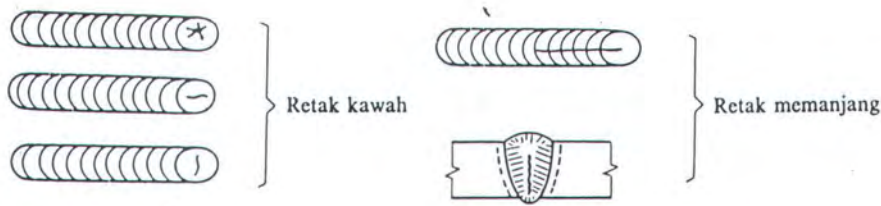
Retak las dapat dibagi dalam dua kelompok yaitu kelompok retak dingin dan kelompok retak panas. Retak dingin adalah retak yang terjadi di daerah las pada suhu di bawah suhu transformasi martensit yang tingginya kira-kira  $300^{\circ}\text{C}$ , sedangkan retak panas adalah retak yang terjadi pada suhu diatas  $550^{\circ}\text{C}$ .

Retak dingin dapat terjadi tidak hanya pada daerah HAZ, tetapi juga pada logam las. Retak dingin pada daerah HAZ dapat dilihat dalam Gbr. 2.12. Retak dingin utama pada daerah ini adalah retak bawah manik las, retak akar, retak kaki. Sedangkan retak pada logam las biasanya adalah retak memanjang dan retak melintang.



Gbr. 2.12 Beberapa contoh Retak Dingin

Retak panas dibagi dalam dua kelas yaitu retak karena pembebasan tegangan pada daerah HAZ yang terjadi pada suhu antara  $550^{\circ}\text{C}$  -  $700^{\circ}\text{C}$  dan retak yang terjadi pada suhu di atas  $900^{\circ}\text{C}$  yang terjadi pada peristiwa pembekuan logam las. Retak panas yang sering terjadi pada logam las karena pembekuan biasanya berbentuk retak kawah, dan retak memanjang seperti yang ditunjukkan dalam Gbr. 2.13. Sedang retak panas karena pembebasan tegangan pada umumnya terjadi pada daerah kaki dalam daerah HAZ.



Gbr. 2.13 Beberapa contoh Retak Panas.

## 2.4.2 Penyebab Retak Las dan Cara Menanggulanginya

### (1) Retak dingin di daerah HAZ

Retak dingin di daerah HAZ biasanya terjadi antara beberapa menit sampai 48 jam sesudah pengelasan. Karena itu retak ini disebut juga retak lambat.

Retak dingin disebabkan oleh tiga hal berikut :

#### 1. Struktur daerah HAZ

Struktur daerah HAZ ditentukan oleh komposisi kimia logam induk dan kecepatan pendinginan dari daerah las. Retak dingin di daerah HAZ dalam pengelasan baja biasanya terjadi pada daerah martensit. Karena itu kadar dari unsur paduan yang mempertinggi sifat mampu keras baja diusahakan serendah mungkin. Pengaruh unsur paduan terhadap kepekaan retak dingin daerah HAZ biasanya dapat dilihat dari harga ekivalen karbon dari unsur-unsur yang dikandung ( $C_{ek}$ ) dan harga parameter retak ( $P_{CM}$ ) seperti yang dirumuskan dalam persamaan berikut :

Harga  $C_{ek}$  menurut JIS dan WES :

$$C_{ek} = C + Mn/6 + Si/24 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14 \quad [\%]$$

Harga Parameter Retak  $P_{CM}$

$$P_{CM} = C + Si/30 + Mn/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B \quad [\%]$$



Dalam hal ini bila nilai dari  $C_{ek}$  dan  $P_{CM}$  turun, maka kepekaan terhadap retak dingin dari daerah pengaruh panas juga turun. Kekuatan baja yang turun karena turunnya  $C_{ek}$  dan  $P_{CM}$  dapat diperbaiki dengan mengatur jenis dan banyaknya unsur yang dicampurkan dan perlakuan panas pada waktu pembuatan baja.

## 2. Hidrogen difusi dalam daerah las

Retak las juga dipengaruhi oleh adanya difusi hidrogen dari logam las ke dalam daerah HAZ. Pada waktu logam las masih mencair, logam ini menyerap hidrogen dengan jumlah besar yang dilepaskan dengan cara difusi pada suhu rendah karena pada suhu tersebut kelarutan hidrogen menurun. Hidrogen yang didifusikan ini menyebabkan retak didaerah HAZ. Sumber dari hidrogen yang diserap adalah air dan zat organik yang terkandung didalam fluks atau kelembaman udara atmosfer. Disamping itu minyak, zat organik dan air yang melekat pada rongga-rongga dan permukaan pelat atau kawat las juga merupakan sumber hidrogen.

Usaha menghindari retak las dapat dilakukan dengan menghilangkan sumber hidrogen dan melepaskan hidrogen yang telah diserap. Untuk hal ini dilakukan penurunan kecepatan pendinginan dengan memberikan pemanasan mula pada temperatur antara 50 sampai 200°C atau memberikan pemanasan kemudian pada temperatur antara 200°C sampai 300°C.

## 3. Tegangan

Tegangan yang dapat mempengaruhi terjadinya retak las adalah tegangan sisa dan tegangan termal. Tegangan sisa banyak sekali tergantung pada rancangan las, proses pengelasan yang digunakan dan pengawasannya. Kenaikan dari tebal pelat akan mempertinggi besarnya tegangan sisa dan akan menyebabkan terjadinya retak las. Selanjutnya pembahasan mengenai tegangan sisa lebih detail akan dibahas dalam sub bab yang terpisah.

Sebab utama dari terjadinya retak las seperti diterangkan diatas adalah terbentuknya struktur martensit pada daerah HAZ , terjadinya hidrogen difusi pada logam las dan besarnya tegangan yang bekerja pada daerah las. Karena itu dalam menghindari terjadinya retak las pada daerah pengaruh panas, maka faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya hal-hal diatas harus diusahakan serendah-rendahnya

Usaha-usaha penanggulangan retak dingin di HAZ dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Sejauh mungkin menggunakan baja dengan harga  $C_{ek}$  dan  $P_{CM}$  rendah, sehingga terbentuknya struktur martensit pada daerah HAZ dapat dihindari.
- Sedapat mungkin menggunakan elektroda dengan fluks yang mempunyai kadar hidrogen rendah.
- Elektroda yang akan digunakan harus dipanggang lebih dahulu dan penyimpanannya harus sedemikian rupa sehingga elektroda yang sudah dipanggang tidak menyerap air.
- Sebelum mengelas, pada daerah sekitar kampuh harus dibersihkan dari air, karat, debu, minyak dan zat organik yang dapat menjadi sumber hidrogen.
- Penggunaan  $CO_2$  , sebagai gas pelindung akan sangat mengurangi terjadinya difusi hidrogen.
- Untuk melepaskan kadar difusi hidrogen dapat digunakan las dengan masukan panas tinggi, atau dilakukan pemanasan mula dan penahanan suhu lapisan las yang dapat memperlambat pendinginan.
- Tegangan yang terjadi pada daerah las harus diusahakan serendah mungkin dengan pemilihan dan pengawasan rancangan dan cara pengelasan yang tepat.



### (2) Retak panas

Retak panas biasanya terjadi pada waktu logam las mendingin setelah pembekuan selesai. Retak ini terjadi karena adanya tegangan yang timbul yang disebabkan oleh penyusutan dan sifat baja yang ketangguhannya turun pada suhu sedikit dibawah suhu pembekuan. Dengan demikian maka retak ini akan terjadi pada pada batas butir, karena pada tempat tersebut biasanya terbentuk senyawa dengan titik cair rendah. Karena itu unsur seperti Si, Ni, S dan P akan mempertinggi kepekaan baja terhadap retak jenis ini. Usaha menghindari retak panas adalah menurunkan kadar Si dan S serendah mungkin dan menghilangkan kandungan S dan P sejauh mungkin.

### (3) Retak lamel

Pada konstruksi kerangka yang besar seperti bangunan laut, biasanya digunakan pelat tebal, sehingga pada daerah las terjadi tegangan yang besar pula. Karena kadang-kadang terjadi retak berumpak yang menjalar sepanjang butiran bukan logam yang ada didalam baja, retak semacam ini disebut retak lamel. Butiran dengan bentuk-bentuk kubus seperti Mn S atau Mn Si O<sub>3</sub> biasanya lebih peka terhadap retak lamel dari pada butiran berbentuk bulat. Karena itu pada baja tahan retak biasanya kadar belerang diusahakan serendah-rendahnya. Penambahan unsur Ce atau Ca pada baja dapat membentuk butiran bukan logam yang berbentuk bulat, sehingga pengurangan kepekaan baja terhadap retak lamel disamping pengurangan kadar S, dapat juga dilakukan dengan penambahan Ce dan Ca. Disamping sifatnya yang khusus, retak lamel juga mempunyai sifat seperti retak las pada umumnya. Karena itu retak lamel disamping sangat dipengaruhi oleh bentuk butir bukan logam, juga dipengaruhi oleh harga  $C_{ek}$  atau  $P_{CM}$ , kadar hidrogen difusi dan tegangan sisa.

#### *(4) Retak lintang pada logam las*

Retak dingin disamping terjadi pada daerah HAZ juga dapat terjadi pada logam las. Retak ini biasanya terjadi dengan arah tegak lurus atau melintang terhadap garis las dan disebut retak lintang. Retak lintang dapat terjadi pada pengelasan SMAW yang menggunakan logam las dengan kekuatan lebih dari  $75 \text{ kg/mm}^2$ . Retak lintang sama halnya dengan retak dingin, terjadinya karena adanya hidrogen difusi yang keluar dari fluks atau pembungkus elektroda. Pada permukaan manik las, hidrogen difusi yang dikandung dapat dilepaskan dengan mudah bila dibandingkan dengan hidrogen yang ada di bagian dalam. Karena itu retak lintang biasanya terdapat pada tengah-tengah tebal lasan tanpa menembus permukaan. Dengan demikian jelas bahwa cara menghindari retak lintang adalah menurunkan kadar hidrogen difusi. Disamping pengeringan dan penyimpanan yang baik dari bahan-bahan las terhadap uap air, pemanasan mula dan pemanasan kemudian sangat membantu dalam melepaskan hidrogen difusi.

#### *(5) Retak pada daerah las karena proses pembebasan tegangan*

Retak yang terjadi karena perlakuan-perlakuan panas sesudah pengelasan adalah retak karena proses anil pembebasan tegangan. Tempat terjadinya retak anil ini adalah pada batas-batas butir, terutama butir kasar pada daerah pengaruh panas. Retak ini biasanya terjadi karena adanya konsentrasi tegangan seperti pada daerah kaki lasan, sehingga daerah ini harus diselesaikan sehalus mungkin sehingga tidak ada takikan. Disamping itu juga harus dihindari adanya garis las yang menyilang atau terlalu dekat satu sama lain.



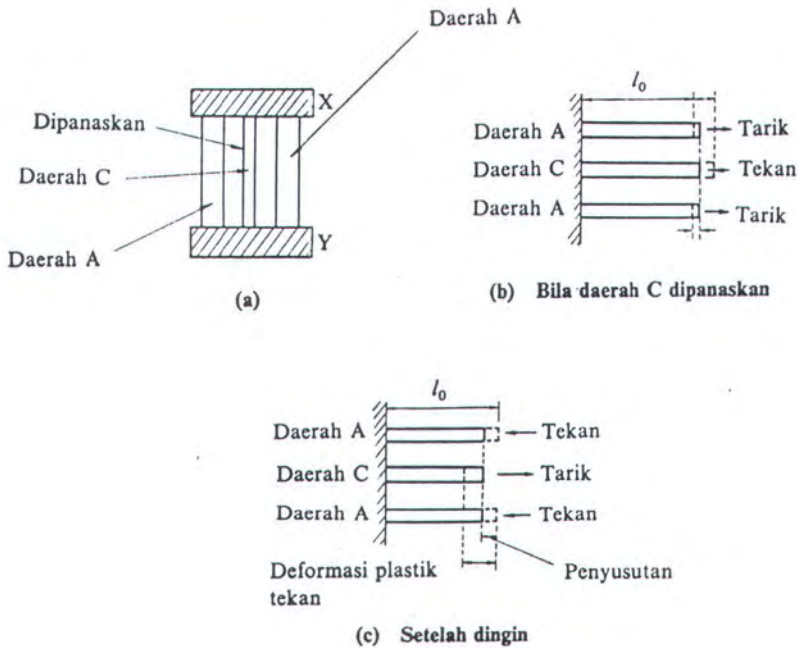
## 2.5 TEGANGAN SISA

Dalam proses pengelasan, bagian yang dilas menerima panas pengelasan setempat dan selama proses berjalan suhunya berubah terus sehingga distribusi suhu tidak merata. Karena panas tersebut, maka pada bagian yang dilas terjadi pengembangan termal. Sedangkan bagian yang dingin tidak berubah sehingga terbentuk penghalangan pengembangan yang mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk tetap yang disebabkan karena adanya perubahan besaran mekanik. Disamping terjadi perubahan bentuk, yang dengan sendirinya terjadi regangan maka terjadi juga tegangan yang sifatnya tetap yang disebut *tegangan sisa*. Tegangan sisa yang terjadi karena pengelasan ini dapat dibagi dalam dua kelompok, yaitu : Pertama tegangan sisa oleh adanya halangan dalam yang terjadi karena pemanasan dan pendinginan setempat pada bagian konstruksi yang bebas, dan Kedua tegangan sisa oleh adanya halangan luar yang terjadi karena perubahan bentuk dan penyusutan dari konstruksi. Tegangan sisa dan perubahan bentuk yang terjadi sangat mempengaruhi sifat dan kekuatan dari sambungan, karena itu usaha untuk mengatur dan mengurangi tegangan sisa dan perubahan bentuk perlu dilakukan.

### 2.5.1 TERJADINYA TEGANGAN SISA

Terjadinya tegangan sisa ini dapat dilihat dalam Gbr. 2.14, dimana daerah C mengembang pada waktu pengelasan. Pengembangan pada C ditahan oleh daerah A, sehingga pada daerah C terjadi tegangan tekan dan pada daerah A terjadi tegangan tarik. Pada waktu pengelasan selesai, terjadilah proses pendinginan dimana bagian C menyusut cukup besar disamping karena pendinginan juga karena adanya tegangan tekan. Penyusutan

ini ditahan oleh daerah A, karena itu pada daerah C akan terjadi tegangan tarik yang diimbangi oleh tegangan tekan pada daerah A.



Gbr. 2.14 Pembentukan Tegangan Sisa

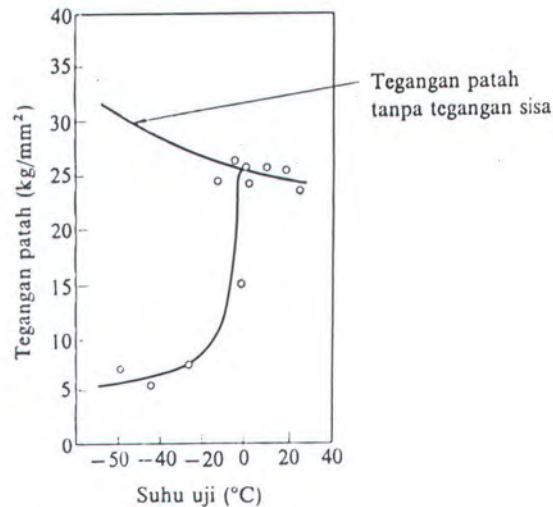
Hal-hal yang berpengaruh dalam pembentukan tegangan sisa adalah batas transformasi dan batas luluh bahan, suhu pemanasan yang tertinggi, kecepatan pendinginan, tahanan luar dan pemanasan mula. Faktor-faktor ini sangat berkaitan satu dengan yang lain, karena itu dalam mengatur dan mengawasi terjadinya tegangan sisa semuanya harus diperhatikan.

## 2.5.2 PENGARUH TEGANGAN SISA TERHADAP PATAH GETAS

Tegangan sisa berpengaruh jelek terhadap patah getas dari sambungan las. Hal ini dapat ditunjukkan dengan menarik batang uji bertakik kearah lasan pada beberapa suhu yang berlainan. Hubungan antara suhu dan tegangan patah getas ditunjukkan dalam Gbr. 2.15.



Bila dalam sambungan tidak ada tegangan sisa maka tegangan patah getas akan naik dengan diturunkannya suhu pengujian. Tetapi bila terdapat tegangan sisa, tegangan patah getasnya menurun dengan cepat pada suatu suhu tertentu.



Gbr. 2.15 Pengaruh Tegangan Sisa pada Tegangan Patah dari Pelat Uji dengan Takikan.

### 2.5.3 PENGUKURAN BESARNYA TEGANGAN SISA

Tegangan sisa dapat dihitung melalui besarnya tegangan yang terjadi dengan menggunakan hukum Hooke. Sedangkan besarnya regangan sisa dapat diukur dari perubahan ukuran antara batang sebelum dipotong, yaitu ukuran yang digambarkan pada bagian yang akan ditentukan tegangan sisanya dan ukuran sebenarnya yang didapat setelah bagian yang akan diuji di potong. Dari hukum Hooke jelas bahwa perubahn ukuran ini disebabkan oleh adanya tegangan, karena itu besarnya tegangan dapat dihitung. Dalam hal tegangan satu arah dapat dihitung tegangan dengan formula berikut :

$$\sigma = E \Delta l/l$$

dimana :  $\sigma$  = tegangan sisa yang terjadi

$l$  = panjang sebelum dipotong

$\Delta l$  = perubahan panjang sebelum dan sesudah dipotong

$E$  = Modulus elastik

Dalam hal terjadi tegangan sisa dengan dua dimensi dapat dilakukan perhitungan dengan formula berikut :

$$\sigma_x = \frac{E}{1 - \nu^2} (\epsilon_x + \nu \epsilon_y) \quad \text{dan} \quad \sigma_y = \frac{E}{1 - \nu^2} (\epsilon_y + \nu \epsilon_x)$$

dimana :  $\sigma_x$  = tegangan tegak lurus garis las

$\sigma_y$  = tegangan searah garis las

$\epsilon_x$  = regangan tegak lurus garis las

$\epsilon_y$  = regangan searah garis las

$\nu$  = angka perbandingan Poisson

Pengukuran besarnya regangan dilakukan dengan menggunakan *strain gage*.

#### 2.5.4 PENGURANGAN DAN PEMBEBASAN TEGANGAN SISA

Dalam pengelasan tegangan sisa terjadi karena adanya penyusutan pada waktu pendinginan setelah pengelasan. Besarnya tegangan sisa yang terjadi dapat dikurangi dengan mengurangi besarnya masukan panas dan banyaknya logam lasan yang dilaksanakan dengan memperkecil sudut alur dari kampuh dan memperkecil celah akar pada las tumpul. Dalam hal las sudut, dapat dilakukan dengan memperkecil panjang kaki las dan penguat.



Tabel 2.3 Cara pengurangan atau pembebasan tegangan sisa

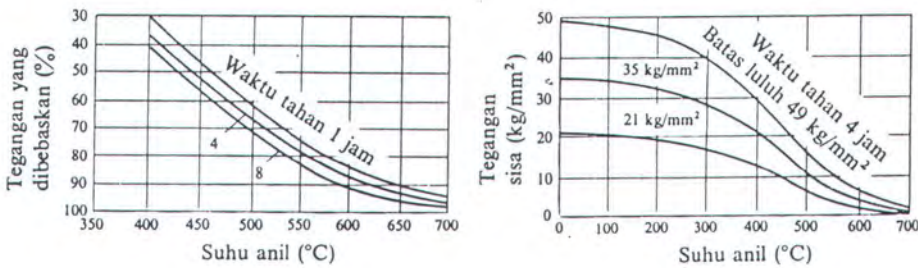
Cara		Pengelasan	Keuntungan	Kerugian
Cara mekanik	Penempaan	Logam lasan dan daerah sekitarnya ditempa atau dipukul selama atau setelah pengelasan.	Dapat digunakan pada logam-logam ulet ulet. Butir logam dapat menjadi halus	Tidak dapat digunakan pada logam getas.
	Peregangan	Sambungan ditarik sampai terjadi perubahan bentuk plastik.	Sangat baik untuk bejana tekan bentuk bola. Karena geometrinya maka tegangan yang diperlukan dapat dihitung dengan teliti. Pelaksanaannya dapat dilakukan dengan tekanan hidrostatik.	Tidak dapat digunakan bentuk-bentuk yang rumit.
	Getaran	Kepada konstruksi diberikan getaran yang dapat memberikan resonansi frekwensi rendah. Karena getaran ini akan terjadi perubahan bentuk plastil setempat.	Pelaksanaannya sederhana.	Tidak dapat digunakan pada konstruksi besar dengan pelat tebal karena hasilnya tidak merata.
Cara termal	Anil	Lasan dari jenis baja ferit dipanaskan sampai 600 atau 700°C dan yang dari jenis austenit sampai 900°C. Setelah ditahan beberapa waktu pada suhu ini kemudian didinginkan pelan-pelan.	Keberhasilannya tinggi.	Tidak dapat digunakan pada konstruksi besar dan sukar untuk dilaksanakan di lapangan.
	Anil suhu tinggi	Lasan dari jenis baja konstruksi umum dipanaskan sampai 900 atau 950°C. Setelah ditahan beberapa lama pada suhu ini kemudian di dinginkan pelan-pelan.	Seluruh tegangan sisa dapat dibebaskan.	Diperlukan pemanasan yang merata dan harus di jaga agar tidak terjadi perubahan bentuk
	Pembebasan tegangan dengan suhu rendah	Kedua permukaan daerah lasan selebar 60 sampai 130 mm dipanaskan sampai 150 atau 200°C, yang diikuti pendinginan dengan air.	Baik untuk konstruksi-konstruksi besar.	Pengurangan terhadap tegangan sisa rendah.

Karena penghalang luar juga menyebabkan terjadinya tegangan sisa, maka perlu dihindari terjadinya dengan menentukan urutan pengelasan yang baik.

Terdapat dua cara untuk membebaskan tegangan sisa, yaitu cara mekanik dan cara termal. Kedua cara ini diterangkan dalam Tabel 2.3[ref.4]. Dari kedua cara pemngurangan tegangan sisa di atas yang paling banyak digunakan adalah cara termal dengan proses anil. Dalam Tabel 2.4 ditunjukkan beberapa kondisi dalam pembebasantegangan dengan proses anil dan pengaruh dari proses ini ditunjukkan dalam Gbr. 2.16.

Tabel 2.4 Kondisi Pembebasan Tegangan dengan Cara Anil untuk Baja Karbon

Prosentase kandungan karbon dan ketebalan pelat.	Suhu anil (°C )	Waktu penahanan suhu (jam)
C : ≤ 0.35% tebal : < 19 mm	Pada umumnya tidak perlu ada pembebasan tegangan.	
C : ≤ 0.35% tebal : ≥ 19 mm	590 - 680	1
C : ≥ 0.35% tebal : < 12 mm	Pada umumnya tidak perlu ada pembebasan tegangan.	
C : ≥ 0.35% tebal : ≥ 12 mm	590 - 680	1



Gbr. 2.16 Hubungan antara suhu anil untuk pembebasan tegangan dan penurunan tegangan sisa.



## BAB III PENGELASAN BAJA DAN KEPATAHAN LASAN

### 3.1 KLASIFIKASI BAJA KARBON

Baja karbon adalah paduan antara besi dan karbon dengan sedikit Si, Mn, P, S dan Cu. Sifat baja karbon sangat dipengaruhi oleh kadar karbonnya karena itu baja ini diklasifikasikan berdasarkan kandungan karbon yang ada didalamnya, antara lain [ref.9]:

- Baja Karbon Rendah ( Low Carbon Steel ) mengandung kurang dari 0.30% C.
- Baja Karbon Menengah ( Medium Carbon Steel ) mengandung 0.30% sampai 0.45% C.
- Baja Karbon Tinggi ( High Carbon Steel ) mengandung 0.45% - 1.7% C.

Kenaikan kandungan karbon dalam baja, walaupun hanya sedikit saja akan mempengaruhi pada sifat baja, antara lain :

1. Titik leleh baja lebih tinggi dan tahan panas.
2. Baja menjadi lebih keras, kurang mudah dimesin.
3. Kekuatan tarik bertambah dan ke-ductile-an turun
4. sifat mampu las baja turun.

#### 3.1.1 BAJA LUNAK ( Mild Steel )

Baja lunak adalah termasuk Baja Karbon Rendah dengan kandungan karbon tidak lebih dari 0.3 %. Selain karbon baja ini hanya mengandung unsur tambahan Mn dan Si masing-masing tidak lebih dari 0.04 %.

Sifat mekanik dari baja karbon rendah ini antara lain [ref.7]:

1. Kekuatan tarik rendah , berkisar antara 40 sampai 50 kg/mm<sup>2</sup>.

2. Keuletan tinggi sampai 25 - 40 %.
3. Kekerasan antara 110 sampai 150 Brinell.
4. Mudah dibentuk dan sifat mampu las sangat baik tapi tidak sepenuhnya dapat diperlakukan panas.
5. Temperatur lebur antara 1460 sampai 1500°C.

Baja lunak ini sangat luas penggunaannya sebagai baja konstruksi, rangka bangunan, pelat lambung dan rangka kapal dan lain sebagainya.

### 3.1.2 BAJA KEKUATAN TINGGI ( High Tensile Steel )

Baja diperkuat atau baja kekuatan tinggi adalah baja yang mempunyai kekuatan lebih tinggi dari baja lunak , dengan kuat tarik berkisar antara 50 sampai 100 kg/mm<sup>2</sup> [ref.9]. Baja kekuatan tinggi merupakan baja karbon rendah yang mendapat perlakuan tertentu yang dapat meningkatkan kekuatan baja.

Penguatan baja dapat dilakukan dengan beberapa cara , antara lain :

- Dengan penambahan kandungan karbon ; Penambahan unsur karbon dalam baja akan meningkatkan kekuatan tarik baja , menaikkan titik leleh, meningkatkan kekerasan dan menurunkan sifat mampu las baja. Sehingga penambahan unsur karbon harus dimbangi dengan penambahan unsur Mn dan Si yang dapat memperbaiki sifat-sifat baja. Penguatan ini menghasilkan baja karbon menengah atau baja karbon tinggi.
- Penambahan unsur paduan ; Penambahan unsur-unsur paduan seperti Cr , Ni , Mn , S dan lainnya dengan kadar karbon sama dengan baja lunak akan memperbaiki sifat-sifat baja. Dengan penambahan unsur paduan ini kekuatan baja dapat dinaikkan tanpa



mengurangi ke-ductile-annya. Disamping itu sifat lainnya seperti kekuatan fatik dan daya tahan terhadap korosi, terhadap aus dan terhadap panas juga menjadi lebih baik.

Dalam penelitian tugas akhir ini digunakan baja jenis Medium Carbon Steel dengan kadar karbon 0.44 % dan kuat tarik 60 kg/mm<sup>2</sup>.

Berdasarkan proses pembuatannya baja kekuatan tinggi dikelompokkan dalam [ref.4]:

1. Baja-baja Rol ; Pengaturan dalam proses pengerolan sangat membantu dalam pembuatan baja untuk mendapatkan kekuatan tarik dan takik yang tinggi. Baja pelat rol biasanya dihasilkan dengan mengerol cepat slab yang telah dipanaskan sampai suhu 1250°C , sehingga baja yang dihasilkan mempunyai kekuatan takik rendah. Bila diminta untuk menghasilkan baja dengan ketangguhan yang tinggi maka pengerolan harus dilakukan pada temperatur yang rendah. Pengerolan akhir untuk baja ini sekitar 700°C , yaitu suhu daerah campuran austenit dan ferit. Makin rendah suhu pengerolannya makin baik sifat kekuatan takiknya yang disebabkan oleh butir-butir ferit yang menjadi lebih halus. Untuk memperbaiki sifat baja kadang-kadang ditambahkan sedikit unsur V dan Nb yang akan mempertinggi kekuatan baja dengan membentuk endapan halus VN dan NbC pada waktu terjadi transformasi austenit ke ferit sesaat setelah pengerolan selesai. Baja-baja pelat rol dengan pengaturan seperti diatas biasanya digunakan untuk baja konstruksi dengan kekuatan tarik antara 50 sampai 60 kg/mm<sup>2</sup>.
2. Baja Normal Dan Baja Normal Temper ; Baja ini pada dasarnya adalah baja dengan struktur mikro ferit-perlit dengan kekuatan tarik sekitar 60 kg/mm<sup>2</sup>. Perbedaan baja ini terhadap baja rol biasa adalah bahwa walaupun dalam proses pembuatannya menjalani pengerjaan panas pada suhu 900°C yang menurunkan kekuatan dan keuletan , sifat-sifat tersebut masih dapat diperbaiki dengan perlakuan panas. Perlakuan panas yang

dimaksudkan adalah memanaskan sampai mencapai suhu transformasi dan kemudian didinginkan di udara. Perlakuan panas ini dinamakan penormalan. Kadang-kadang setelah penormalan masih diikuti dengan pemanasan dibawah temperatur transformasi dan diikuti dengan pendinginan dengan kecepatan tertentu. Proses kedua ini dinamakan penemperan. Baja dalam kelompok ini biasanya selalu mengandung unsur Al yang dapat mengendapkan gas nitrogen dalam bentuk Al N pada proses transformasi ferit-austenit. Sifat yang baik lainnya dari baja ini adalah tidak mudah mengeras karena peregangan atau deformasi. Karena sifat-sifat yang baik tersebut maka baja ini banyak digunakan untuk kapal-kapal tangki minyak kasar, bejana tekan dan lain sebagainya. Pelat-pelat baja normal dan baja normal temper yang dapat dihasilkan dengan tanpa penambahan unsur khusus, berdasarkan JIS hanya sampai SM 53 , SM 53 C atau SPV 36. Untuk baja dengan kekuatan yang lebih tinggi perlu adanya penambahan unsur-unsur Mo , V dan lainnya. Karena hal ini maka pembuatan pelat baja dengan kekuatan  $58 \text{ kg/mm}^2$  ( SM 58 ) atau lebih, seringkali harus menggunakan proses penemperan.

3. Baja Celup Dan Temper ; Baja-baja kuat yang memerlukan kekuatan  $60 \text{ kg/mm}^2$  atau lebih, seringkali harus mengalami proses celup dan temper. Celup adalah proses perlakuan panas dengan mendinginkan baja dari suhu austenit ke suhu kamar dengan mencelupkan ke dalam air atau minyak. Komposisi kimia baja celup temper kekuatan  $60 \text{ kg/mm}^2$  tidak banyak berbeda dengan baja normal kekuatan  $50 \text{ kg/mm}^2$  , karena itu sifat mampu lasnya juga hampir sama. Tetapi untuk pelat tebal, ke dalam pelat tersebut harus ditambahkan sedikit unsur-unsur paduan seperti Ni , Mo atau Cr yang dapat menjamin sifat mampu-kerasnya, dan kadang-kadang juga V yang dapat menyebabkan terjadinya pengerasan kedua pada proses temper. Struktur mikro yang terjadi jarang sekali



mencapai martensit sempurna, biasanya yang terbentuk adalah ferit dan bainit. Baja dengan kekuatan  $70 \text{ kg/mm}^2$  dan  $80 \text{ kg/mm}^2$  biasanya mengandung unsur-unsur paduan Cu, Ni, Cr, Mo, V dan lain sebagainya. Hal yang penting dalam menghasilkan baja ini adalah usaha untuk menurunkan karbon ekivalen serendah mungkin sehingga sifat mampu-lasnya tetap tinggi dan pengaturan struktur mikro pengeras yaitu struktur mikro ganda dari bainit halus dan martensit yang dapat memperbaiki kekuatan takik.

### **3.2 PENGELASAN BAJA KARBON**

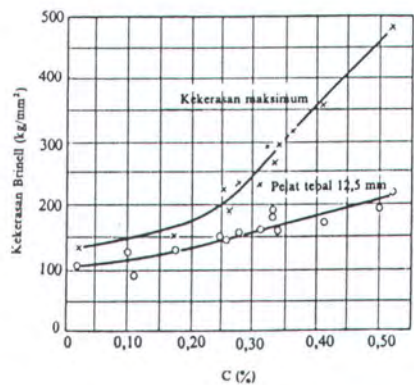
#### **3.2.1 PENGELASAN BAJA KARBON RENDAH**

Faktor yang sangat mempengaruhi sifat mampu las dari baja karbon rendah adalah kekuatan takik dan kepekaan terhadap retak las. Kekuatan takik pada baja karbon rendah dapat dipertinggi dengan menurunkan kadar karbon dan menaikkan kadar Mn. Suhu transisi dari kekuatan takik menjadi turun dengan naiknya harga perbandingan Mn/C. Baja karbon rendah mempunyai kepekaan retak las yang rendah bila dibandingkan dengan baja karbon lainnya atau dengan baja karbon paduan. Tetapi retak las pada baja ini dapat terjadi dengan mudah pada pengelasan pelat tebal atau bila didalam baja tersebut terdapat belerang bebas yang cukup tinggi

Baja karbon rendah dapat dilas dengan semua cara pengelasan yang ada didalam praktek dan hasilnya akan baik bila persiapannya sempurna dan persyaratannya dipenuhi. Pada kenyataanya baja karbon rendah adalah baja yang mudah dilas. Retak las yang mungkin terjadi pada pengelasan pelat tebal dapat dihindari dengan pemanasan mula atau dengan menggunakan elektroda hidrogen rendah.

3.2.2 PENGELASAN BAJA KARBON SEDANG DAN KARBON TINGGI

Baja karbon sedang dan karbon tinggi mengandung banyak karbon dan unsur lain yang dapat memperkeras baja. Karena itu daerah pengaruh panas atau daerah HAZ pada baja ini mudah menjadi keras bila dibandingkan dengan baja karbon rendah. Hubungan antara kekerasan maksimum yang dapat dicapai dan kadar karbon dapat dilihat Gbr. 3.1.



Gbr. 3.1 Hubungan antara kekerasan maksimum pada daerah HAZ dan kadar karbon dalam baja karbon.

Sifatnya yang mudah menjadi keras ditambah dengan adanya hidrogen difusi menyebabkan baja ini sangat peka terhadap retak las. Disamping itu pengelasan dengan menggunakan elektroda yang sama kuat dengan logam lasnya mempunyai perpanjangan yang rendah. Terjadinya retak dapat dihindari dengan pemanasan mula dengan suhu yang sangat tergantung dari kadar karbon. Dalam tabel 3.1 ditunjukkan suhu pemanasan mula yang dianjurkan [ref.4]. Dan untuk mengurangi hidrogen difusi yang juga menyebabkan terjadinya retak las harus digunakan elektroda hidrogen rendah.



**Tabel 3.1 Suhu Pemanasan Mula Pada Pengelasan Baja Karbon Sedang dan Baja Karbon Tinggi.**

Kadar karbon ( % )	Suhu Pemanasan Mula ( °C )
0.20 Maksimum	90 Maksimum
0.20 - 0.30	90 - 150
0.30 - 0.45	150 - 260
0.45 - 0.80	260 - 420

### 3.2.3 PENGELASAN BAJA KARBON PADUAN

Seperti dalam pembahasan bab II , dalam pengelasan baja karbon paduan dapat terjadi penrusakan sifat daerah lasan karena adanya siklus termal. Karena itu pengawasan prosedur dan kondisi pengelasan untuk baja ini harus ketat.

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pengelasan baja karbon paduan antara lain :

1. Perubahan struktur pada daerah las ; Selama pengelasan , karena adanya pemanasan dan pendinginan yang cepat daerah HAZ menjadi keras. Kekerasan yang dapat dicapai tergantung pada kecepatan pendinginan dan komposisi kimianya.
2. Retak las ; Retak las adalah cacat yang berbahaya bagi keamanan konstruksi las , karena itu hal ini harus dihindari sejauh mungkin. Dari pengalaman terdapat tiga faktor yang mempengaruhi terbentuknya retak las , yaitu pengerasan daerah HAZ yang tergantung pada komposisi kimia dari baja , hidrogen difusi pada daerah HAZ dan tegangan pada sambungan. Ketiga faktor ini disatukan dan dijadikan sebagai dasar kriteria yang disebut parameter retak las.
3. Penggetasan daerah las ; Pada pengelasan baja kekuatan tinggi yang mendapat perlakuan panas akan terjadi pelunakan dan penurunan ketangguhan pada daerah HAZ bila digunakan pengelasan dengan masukan panas tinggi. Karena hal ini maka perlu adanya

pembatasan masukan panas. Dalam menentukan syarat pengelasan , masukan panasnya dapat diambil sebagai berikut :

- Baja BJ60 ( yang tidak dikeraskan ) : 90.000 J/cm
- Baja BJ60 ( celup dan temper ) : 70.000 J/cm
- Baja BJ70 dan BJ80 ( celup dan temper ) : 50.000 J/cm

### **3.3 PERLAKUAN PANAS PADA PROSES PENGELASAN**

Pada beberapa proses pengelasan diperlukan perlakuan panas pada proses pengelasannya. Perlakuan panas pada proses pengelasan dapat dilakukan sebelum, selama maupun sesudah pengelasan. Perlakuan panas selama pengelasan kaitannya dengan masukan panas ( heat input ) yang terjadi pada proses pengelasan. Masukan panas sangat dipengaruhi oleh tegangan listrik dan kuat arus yang digunakan dan kecepatan pengelasan. Dalam penelitian ini penulis tidak memperhatikan pengaruh dari faktor masukan panas ini, sehingga tidak dilakukan pembahasan lebih detail.

#### **3.3.1 PERLAKUAN PANAS SEBELUM PENGELASAN ( PRE HEAT )**

Tujuan dari pre heat antara lain :

1. Untuk mengurangi tegangan susut pada lasan dan pada daerah dekat logam induk, apalagi jika digunakan penahan sambungan yang terlalu kuat pada logam yang dilas.
2. Untuk memperlambat kecepatan pendinginan melampaui batas temperatur kritis ( sekitar  $300^{\circ}\text{C}$  sampai  $750^{\circ}\text{C}$  ) dan juga untuk mencegah pengerasan dan turunnya ductility pada daerah pengelasan.



3. Untuk memperlambat kecepatan pendinginan melampaui batas  $200^{\circ}\text{C}$  serta memberikan kesempatan yang lebih lama untuk hidrogen terdifusi keluar dari lasan sehingga mengurangi retak las.

Pemakaian pre heat tergantung dari beberapa faktor antara lain sifat kimia logam induk dan ketebalan pelat.

Baja karbon sedang dan tinggi mengandung banyak karbon dan unsur lain yang dapat memperkeras baja. Karena itu pada kondisi pengelasan yang sama daerah HAZ baja jenis ini mudah menjadi keras jika dibandingkan dengan baja karbon rendah. Pada pendinginan udara biasa tidak cukup untuk melampaui tingkat pendinginan kritisnya. Sifat mudah menjadi keras ditambah dengan adanya hidrogen difusi menyebabkan baja ini sangat peka terhadap retak las.

Besarnya temperatur pre heat dapat ditentukan dasar nilai empiris dari karbon ekuivalen ( $C_{ek}$ ). Atau bila menggunakan dasar kandungan karbon perkiraan temperatur pre heat dapat digunakan Tabel 3.1.

### 3.3.2 PERLAKUAN PANAS SETELAH PENGELASAN (Post Weld Heat Treatment)

Beberapa perlakuan panas setelah pengelasan yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut :

#### 1. Post Weld dengan Torc

Post weld dengan torch dilakukan bila tidak ada dapur pemanas ( oven ), karena post weld dengan torch kurang merata jika dibandingkan dengan oven. Suhu yang dapat dicapai api torch adalah  $850^{\circ}\text{C}$ . Caranya adalah api dari torch diarahkan ke logam las dan

logam induk secara menyeluruh sehingga didapatkan panas yang merata dan dicapai kecepatan pendinginan yang lebih lambat.

## **2. Post Weld Tempering**

Post weld ini dilakukan dilakukan pada baja yang mengalami pengerasan tinggi, sehingga diperoleh martensite yang bersifat keras tapi rapuh dan juga sangat tegang. Karena itu biasanya sesudah hardening selalu diikuti dengan tempering, dipanaskan kembali sampai temperatur dibawah temperatur kritis bawah ( antara 205° sampai 425°C ). Tujuannya adalah untuk mengurangi tegangan dalam,menaikkan kembali ductility dan ketangguhan baja.

## **3. Post Weld Annealing**

Post weld ini dilakukan dengan cara Stress Relief Annealing ataupun Process Annealing dimana pemanasannya antara 550 sampai 680°C ( sedikit dibawah temperatur kritis ). Stress Relief Annealing dimaksudkan untuk menghilangkan tegangan dalam yang timbul akibat dari pengelasan ataupun machining. Sedangkan Process Annealing dimaksudkan untuk melunakkan dan menaikkan ductility dengan memberikan kesempatan terjadinya rekristalisasi.Setelah suhu pemanasan tercapai dilakukan penahanan suhu selama beberapa selang waktu dengan tujuan untuk melarutkan struktur mula menjadi austenit.

# **3.4 PENGUKURAN KEKUATAN SAMBUNGAN LAS**

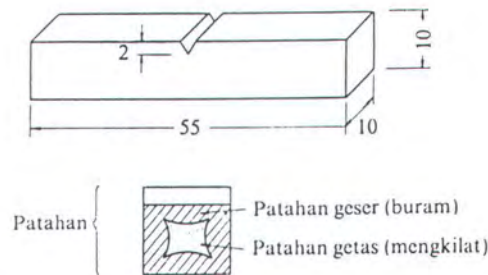
## **3.4.1 KEKUATAN TARIK**

Sifat tarikan yang dimaksudkan disini adalah sifat-sifat yang berhubungan dengan pengujian tarik. Dalam sambungan las sifat tarik sangat dipengaruhi oleh sifat dari logam induk , sifat daerah HAZ , sifat logam las dan sifat-sifat dinamik sambungan yang berhubungan erat dengan geometri dan distribusi tegangan dalam sambungan.



### 3.4.2 KEKUATAN TUMBUK

Kekuatan tumbuk dari suatu bahan adalah kemampuan bahan dalam menerima beban tumbuk yang diukur dengan besarnya energi yang diperlukan untuk mematahkan batang uji dengan palu ayun seperti yang terlihat dalam Gbr. 3.2.



Gbr. 3.2 Batang Uji dan Patahan dari Uji Tumbuk Charpy

Jadi jelas disini bahwa kekuatan tumbuk adalah sifat logam yang sama dengan ketangguhan. Sifat ini perlu diperhatikan karena logam dengan kekuatan tarik yang sama belum tentu mempunyai kekuatan tumbuk atau ketangguhan yang sama dan logam yang kuat belum tentu ketangguhannya tinggi. Hal yang jelas adalah bahwa sifat ini menurun dengan menurunnya temperatur dan menurun dengan mendadak pada suatu suhu tertentu yang disebut suhu transisi.

### 3.4.3 KEKERASAN

Kekerasan merupakan ukuran ketahanan bahan terhadap deformasi tekan [ref.5]. Sebuah indenter yang keras ditekankan ke permukaan logam yang diuji. Deformasi yang terjadi merupakan kombinasi perilaku elastis dan plastis, akan tetapi kekerasan umumnya

hanya berkaitan dengan sifat plastis dan hanya sebagian kecil bergantung pada sifat elastis. Dikenal beberapa cara pengukuran kekerasan , seperti kekerasan gores , yang bergantung pada kemampuan goresbahan yang satu terhadap bahan lainnya.

Ada beberapa macam pengukuran kekerasan yang perbedaan pokoknya terletak pada bentuk indenter yang ditekan pada permukaan.

- Uji kekerasan Brinell menggunakan indenter bola baja yang dikeraskan.
- Uji kekerasan Vickers menggunakan indenter piramida intan dengan sudut  $136^\circ$ .
- Uji kekerasan Rockwell menggunakan indenter kerucut intan dengan sudut  $120^\circ$  dan ujung yang agak bulat.

Meskipun indentornya berbeda , bilangan kekerasan menggambarkan perbandingan antara beban dan luas permukaan jejak. Adapun formula kekerasan yang umum digunakan yaitu :

$$\text{Bilangan Kekerasan Brinell ( BHN )} = \frac{P}{0.5 \pi D ( D - ( D^2 - d^2 )^{0.5} )}$$

$$\text{Bilangan Kekerasan Vickers ( VHN )} = \frac{1.854 P}{L^2}$$

dimana : P = beban [ kg ]

D = diameter bola [ mm ]

d = diameter jejak [ mm ]

L = diagonal indentasi piramida rata-rata [ mm ]

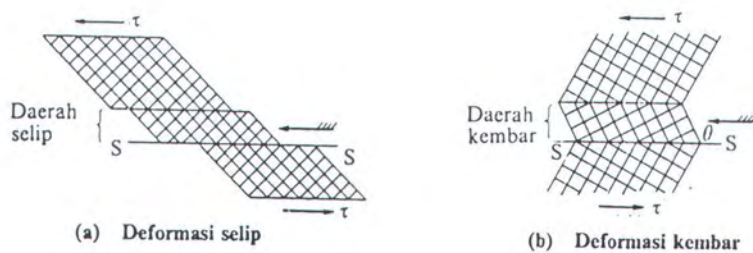
Sedang untuk pengukuran kekerasan Rockwell dapat terbaca langsung pada alat pengukurnya.



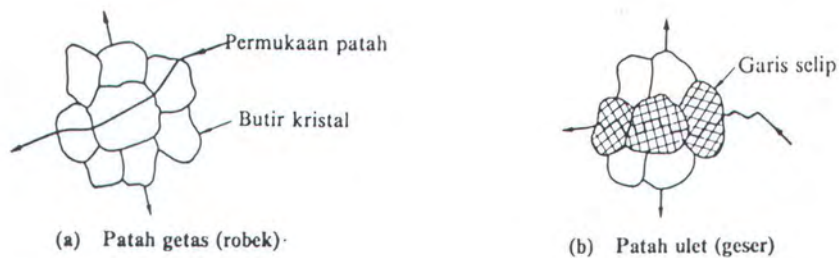
### 3.5 PATAHNYA KONSTRUKSI LAS

#### 3.5.1 PATAH ULET

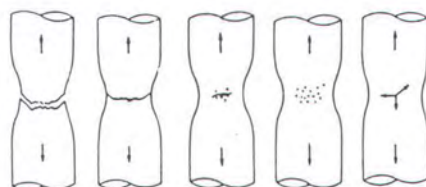
Gambar-gambar yang menunjukkan proses terjadinya patahan ditunjukkan dalam Gbr. 3.3 , Gbr. 3.4 , Gbr 3.5 berikut.



Gbr. 3.3 Deformasi Slip dan Lembar yang Terjadi dalam Kristal



Gbr. 3.4 Patah Ulet dan Patah Getas



Gbr. 3.5 Terjadinya Patahan Ulet

Ciri-ciri dari patahan ulet adalah sebagai berikut :

1. Terlihat adanya deformasi plastik yang cukup banyak seperti terjadinya deformasi slip dan deformasi kembar.
2. Butir-butir kristal berubah bentuk memanjang karena adanya regangan geser.
3. Penampang lintang dari benda mengecil dan untuk baja , muka patahnya berwarna keabu-abuan.

### **3.5.2 PATAH GETAS**

Patah getas terjadi pada saat yang tidak dapat diduga , baik pada waktu pembuatan maupun sesudah selesai pembuatan , dengan beban yang lebih rendah dari batas luluh bahan. Karena tidak dapat diduga sebelumnya , maka banyak kecelakaan kerusakan dan kerugian yang diakibatkan oleh terjadinya patah getas.

Hal-hal umum yang terdapat dalam patah getas adalah sebagai berikut :

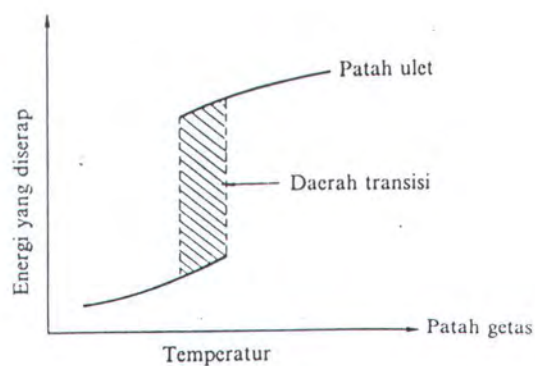
1. Kemungkinan terjadinya lebih besar pada suhu yang lebih rendah dari suhu ruang.
2. Patahannya tegak lurus terhadap arah tegangan tarik dengan permukaan patahan yang mengkilat. Hal ini disebabkan karena patah terjadi pada permukaan kristal. Di samping itu pada permukaan tampak adanya garis-garis halus yang dapat menunjukkan dengan mudah sumber patahan.
3. Patah biasanya mulai dari bagian logam yang terputus , baik dalam bahan maupun dalam bentuk , yang dapat menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan. Keadaan terputus ini biasanya terjadi karena pengelasan yang kurang baik.
4. Tegangan yang menyebabkan patah getas selalu lebih rendah dari kekuatan luluh. Rambatan patahan dapat mencapai 2000 m/det.



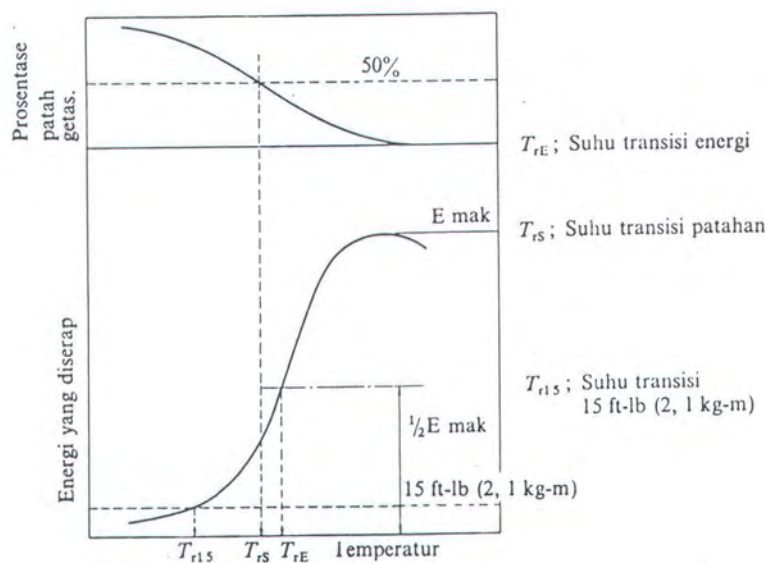
5. Patah getas umumnya hanya terjadi pada logam dengan sel satuan BCC seperti pada baja lunak dan baja paduan rendah.

### 3.6 TAHANAN PATAH DAN CARA MENANGGULANGI PATAH GETAS

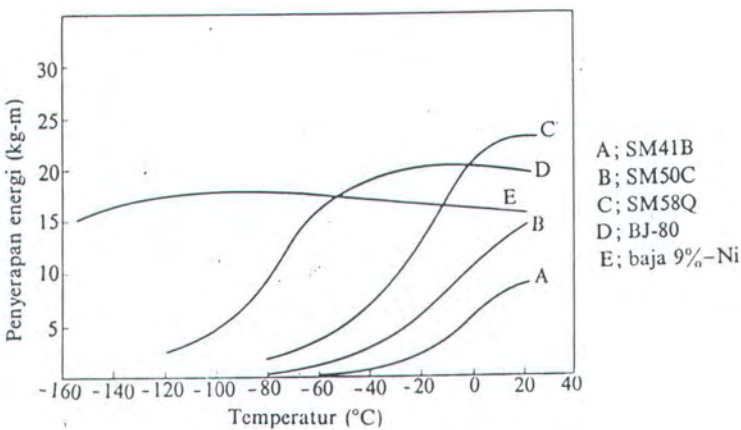
Tahanan logam terhadap patah getas dinamakan tahanan patah. Untuk baja karbon tahanan patahnya akan menurun dengan cepat dengan menurunnya suhu baja. Jadi dalam hal ini terjadi perubahan dari patah ulet ke patah getas yang tergantung pada temperatur. Karena hal ini maka temperatur terjadinya perubahan tersebut dinamakan temperatur transisi, seperti ditunjukkan dalam Gbr. 3.6. Dalam Gbr. 3.7 dan 3.8 ditunjukkan besarnya tahanan patah yang diukur dengan besarnya energi yang diserap. Suhu dimana terjadi patahan dengan setengah energi maksimum dinamakan suhu transisi  $T_{TE}$ . Dalam Gbr. 3.8 ditunjukkan besarnya tahanan patah yang diukur dengan besarnya energi yang diserap untuk beberapa jenis baja.



Gbr. 3.6 Keadaan Transisi pada Patahan



Gbr. 3.7 Hubungan antara Prosentase Patah Getas dan Energi yang Diserap dengan Temperatur Pengujian ( Charpy takik V )



Gbr. 3.8 Kurva Energi - Temperatur untuk beberapa Baja ( Charpy takik V-2 mm )

Beberapa hal yang menyebabkan terjadinya patah getas dan usaha untuk menghindarinya secara umum dapat dijelaskan sebagai berikut :



1. Temperatur kerja dan sifat dari baja yang mempunyai suhu transisi yang rendah. Hal ini dapat dihindari dengan memilih baja dan bahan las yang mempunyai tahanan patah baik.
2. Adanya takikan yang disebabkan karena retak las, terak dan lainnya yang dapat dihindari dengan memperbaiki prosedur pengelasan sehingga mengurangi terjadinya retak dan takik las.
3. Adanya tegangan sisa yang besar yang dapat dihindari dengan prosedur pengelasan yang sesuai misalnya urutan pengelasan yang betul dan dilakukan perlakuan panas yang sesuai.
4. Terjadinya penurunan mutu bahan pada daerah HAZ yang dapat dihindari dengan cara pengelasan yang sesuai.
5. Adanya konsentrasi tegangan pada sambungan yang dapat dihindari dengan perencanaan konstruksi yang baik.
6. Adanya perubahan bentuk yang dapat menimbulkan terjadinya tegangan yang besar dalam konstruksi. Hal ini dapat dikurangi dengan melalui prosedur pengelasan dan perakitan yang baik.

## BAB IV PERSIAPAN DAN PELAKSANAAN PENGUJIAN

### 4.1 PENDAHULUAN

Pengujian yang dilakukan dalam menganalisa pengaruh perlakuan panas pada pengelasan baja kekuatan tinggi (  $60 \text{ kg/mm}^2$  ) terhadap kekerasan dan ketangguhan lasan dalam penelitian ini meliputi dua macam pengujian, yaitu pengujian kekerasan bahan ( hardness test ) dan pengujian ketangguhan patah ( impact test ).

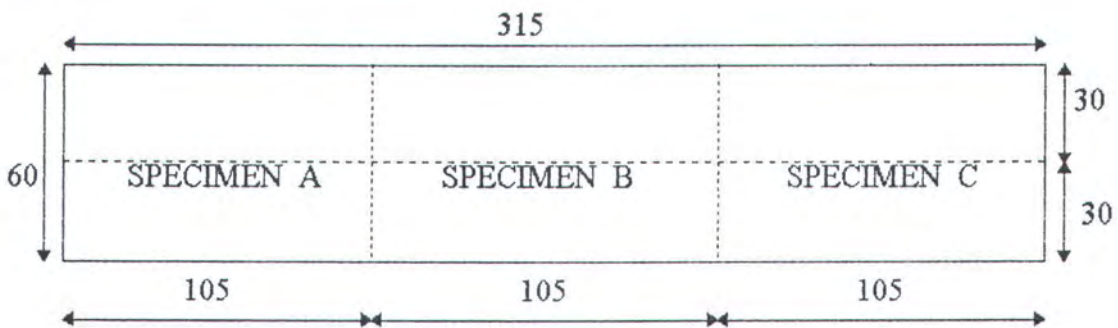
Tujuan utama dalam pengujian ini adalah menentukan perlakuan panas ( heat treatment ) yang paling sesuai pada pengelasan baja kekuatan tinggi (  $60 \text{ kg/mm}^2$  ) dan menganalisa sejauh mana pengaruh perbaikan yang diberikan terhadap kekerasan dan ketangguhan lasan. Sehingga dalam menganalisa hasil pengujian dilakukan studi perbandingan dari beberapa macam prosedur perlakuan panas pada proses pengelasan yang berbeda. Dan dalam penelitian ini penulis membandingkan antara prosedur perlakuan panas pada pengelasan baja kekuatan tinggi dari AWS ( American Welding Society ) dan prosedur perlakuan panas yang diambil dari teori-teori pendekatan dalam usahanya untuk mendapatkan hasil las yang bebas tegangan, bebas retak dan bebas cacat-cacat lain yang dapat mengurangi kualitas sambungan las ( seperti dalam pembahasan Bab II dan Bab III ).

Untuk mengetahui sejauh mana pengaruh perbaikan yang diberikan terhadap kekerasan dan ketangguhan lasan diambil specimen lasan yang tanpa perlakuan panas ( tanpa pre-heat dan pendinginan dengan udara biasa ).



## 4.2 PERSIAPAN

Jumlah specimen untuk tiap prosedur perlakuan panas diambil 3 buah specimen. Sehingga total specimen tiga macam prosedur perlakuan panas adalah 9 buah specimen. Pada dasarnya setiap specimen mengalami dua kali pengujian. Yang pertama uji kekerasan, kemudian setelah dilakukan pengerjaan dingin untuk pembentukan specimen impact dilakukan pengujian yang kedua yaitu uji impact. Sehingga pembagian material untuk keperluan pemotongan ditentukan seperti gambar berikut.



Gbr. 4.1 Pembagian Material Untuk Pemotongan

Dimana :

Specimen A adalah specimen lasan dengan prosedur perlakuan panas dari AWS.

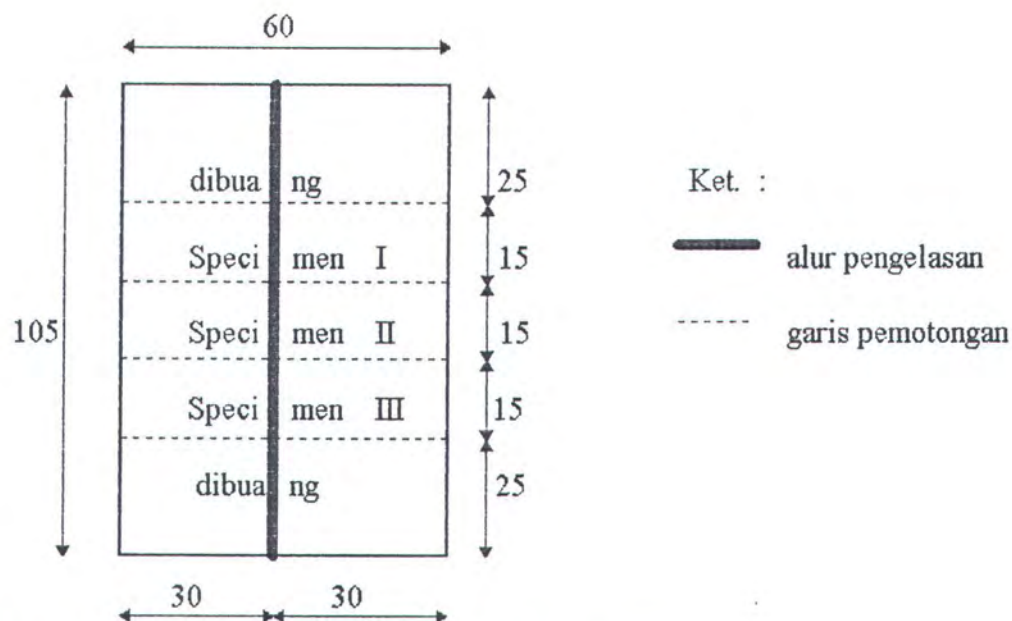
Specimen B adalah specimen lasan dengan prosedur perlakuan panas dari teori Bab II dan Bab III.

Specimen C adalah specimen lasan tanpa perlakuan panas.

----- adalah garis pemotongan.

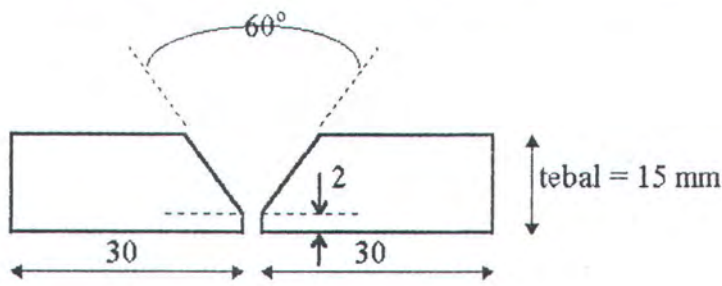
Semua angka dalam satuan [ mm ].

Dan pengambilan specimen uji dari material lasan dengan berpedoman pada AWS untuk tiap prosedur perlakuan panas adalah sebagai berikut :



Gbr. 4.2 Pengambilan Specimen Uji dari Material Lasan

Persiapan sisi specimen sebelum pengelasan diambil dari Rekomendasi JSSC tentang persiapan untuk pengelasan baja dengan busur listrik ( JSSC - 1977 ) sebagai berikut :



Gbr. 4.3 Persiapan Sisi Specimen

4.3 PROSEDUR PENGELASAN DAN PERLAKUAN PANAS

Prosedur pengelasan dibuat sama untuk semua specimen, sehingga hanya pemberian perlakuan panas yang berbeda baik pre-heat maupun post weld heat treatment. Dengan berpedoman pada AWS prosedur pengelasan dalam penelitian ini ditentukan sebagai berikut :



## WELDING PROCEDURE

- Material specification : Medium Carbon Steel  
High Tensile Steel  
Thickness 15 mm
- Welding process : SMAW
- Manual or Machine : Manual
- Position of Welding : 1G ( flat )
- Filler metal Specification : AWS - E 7018
- Polarity : AC or DC

Karena elektroda termasuk jenis low hydrogen sehingga sebelum pemakaian dilakukan pengeringan dengan oven dengan temperatur 150°C selama 1 jam [ ref.6 ].

Komposisi kimia material uji : 0.44%C ; 0.25%Si ; 0.7%Mn (lihat Lampiran IV).

Prosedur perlakuan panas pada proses pengelasan untuk tiga macam specimen yang berbeda dilakukan sebagai berikut :

### (1) SPECIMEN A

Prosedur perlakuan panas untuk specimen A diambil dari “Stress Relief Heat Treatment” , AWS Structural Welding Code Steel (lihat Lampiran III) sebagai berikut :

- Sampai dengan ketebalan 19 mm tanpa pre-heat.
- Setelah pengelasan specimen langsung dimasukkan oven dengan temperatur awal oven  $\pm 315^{\circ}\text{C}$ .

- Selanjutnya laju pemanasan oven maksimum  $200^{\circ}\text{C}$  per jam sampai suhu mencapai  $650^{\circ}\text{C}$  dan pada suhu ini dipertahankan selama  $\pm 1$  jam hingga mencapai suhu  $590^{\circ}\text{C}$ .
- Selanjutnya pendinginan dilakukan dalam oven dengan laju pendinginan maksimum  $260^{\circ}\text{C}$  per jam hingga mencapai suhu  $315^{\circ}\text{C}$  lalu oven dimatikan.

## (2) SPECIMEN B

Prosedur perlakuan panas untuk specimen B didasarkan pada teori-teori seperti dalam pembahasan Bab II dan Bab III dalam usahanya untuk mendapatkan hasil las yang bebas retak, bebas tegangan dan memperkecil adanya difusi hidrogen, yang dapat dirangkum sebagai berikut:

- Suhu pemanasan mula ( pre-heat ) tergantung dari kadar karbonnya. Dalam Tabel 3.1 ditunjukkan untuk kadar karbon 0.44% memerlukan temperatur pre-heat antara 150 sampai  $260^{\circ}\text{C}$  , dan dalam penelitian ini ditentukan  $200^{\circ}\text{C}$  dan dilakukan dengan oven.
- Waktu pendinginan dari suhu  $800^{\circ}\text{C}$  sampai  $500^{\circ}\text{C}$  berdasarkan pada Gbr. 2.10 memerlukan waktu 200 detik ( setelah dilas didiamkan selama 200 detik baru dilakukan aniling dengan oven )
- Suhu anil berdasarkan Tabel 2.4 adalah 590 sampai  $680^{\circ}\text{C}$  dengan waktu penahanan 1 jam.
- Pendinginan selanjutnya juga dilakukan dalam oven.

## (3) SPECIMEN C

Specimen C merupakan specimen lasan murni, yaitu tanpa pre-heat dan pendinginan di udara biasa.

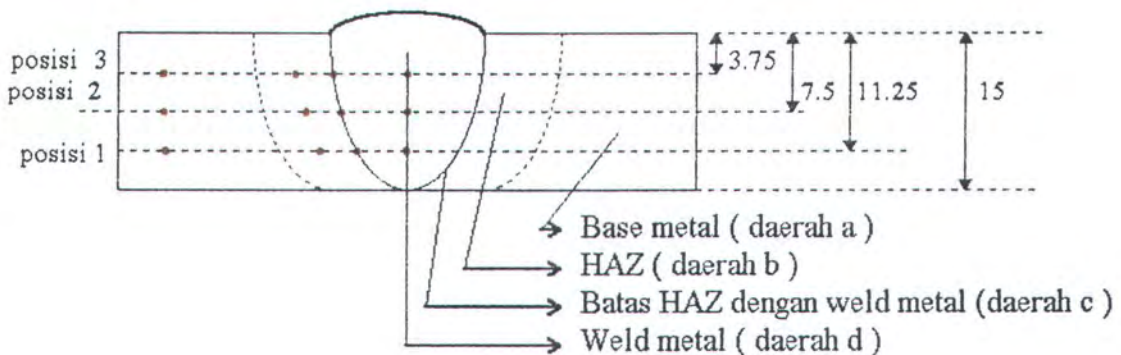


#### 4.4. PENGUJIAN KEKERASAN ( Hardness Test )

Kekerasan merupakan ukuran ketahanan bahan terhadap deformasi tekan. Dan dalam penelitian ini digunakan uji kekerasan Brinell yang menggunakan indentor bola baja yang dikeraskan dengan diameter 1 mm.

##### Langkah kerja uji kekerasan Brinell :

1. Melakukan micro etsa untuk mengetahui batas-batas antara daerah weld metal , HAZ dan base metal , dengan langkah-langkah sebagai berikut :
  - Setelah material dipotong menjadi specimen uji dilakukan penggerindaan.
  - Selanjutnya dilakukan penggosokkan dengan kertas gosok yang urut yaitu no. 400 , 800 dan 1000 hingga permukaan mengkilap.
  - Selanjutnya permukaan yang telah mengkilap diolesi dengan larutan etsa yang merupakan campuran antara alkohol dan asam nitrit dengan perbandingan 5 : 1 .
  - Kemudian dibersihkan dengan alkohol hingga terlihat batas-batas antara weld metal , HAZ dan base metal dan selanjutnya dikeringkan dengan hair drier.
2. Penentuan titik-titik untuk daerah pengujian.



Gbr. 4.4 Penentuan Titik Uji Kekerasan

3. Beban uji adalah 30 kgf dan selama pembebanan berlangsung mesin uji harus terhindar dari getaran maupun sentakan.
  4. Lamanya waktu pembebanan diambil 15 detik.
- Waktu pembebanan adalah periode waktu sejak mulai beban maksimum sampai saat pembebanan beban uji.

#### 4.5 HASIL UJI KEKERASAN BRINELL

Keterangan Tabel :

AI, AII, AIII → specimen lasan dengan prosedur perlakuan panas dari AWS.

BI, BII, BIII → specimen lasan dengan prosedur perlakuan panas dari teori Bab II dan III.

CI, CII, CIII → specimen lasan murni .

( lihat gambar halaman 55 dan 56 ).

Daerah 1, 2, 3 → daerah pengambilan titik uji kekerasan ( lihat gambar halaman 59 )

HB → bilangan kekerasan Brinell [ kg/mm<sup>2</sup> ], dengan formula sebagai berikut :

$$HB = \frac{P}{0.5 \pi D ( D - ( D^2 - d^2 )^{0.5} )}$$

dimana : P = beban ( dalam pengujian ini digunakan 30 kgf ).

D = diameter indentor ( dalam pengujian ini digunakan 1 mm )

d = diameter jejak hasil pengujian ( mm ).



Tabel 4.1 NILAI UJI KEKERASAN PADA BASE METAL

SPECIMEN		POSISI	d (mm)	HB (kg/mm <sup>2</sup> )	HB rata-rata	
A	I	1	0.43	196.546	194.968	195.494
		2	0.43	196.546		
		3	0.435	191.812		
	II	1	0.43	196.546	194.968	
		2	0.435	191.812		
		3	0.43	196.546		
	III	1	0.43	196.546	196.546	
		2	0.43	196.546		
		3	0.43	196.546		
B	I	1	0.43	196.546	196.546	194.968
		2	0.43	196.546		
		3	0.43	196.546		
	II	1	0.43	196.546	194.968	
		2	0.435	191.812		
		3	0.43	196.546		
	III	1	0.43	196.546	193.390	
		2	0.435	191.812		
		3	0.435	191.812		
C	I	1	0.43	196.546	198.180	197.654
		2	0.43	196.546		
		3	0.425	201.448		
	II	1	0.425	201.448	199.814	
		2	0.43	196.546		
		3	0.425	201.448		
	III	1	0.43	196.546	194.968	
		2	0.435	191.812		
		3	0.43	196.546		

Tabel 4.2 NILAI UJI KEKERASAN PADA HAZ

SPECIMEN		POSISI	d (mm)	HB (kg/mm <sup>2</sup> )	HB rata-rata	
A	I	1	0.43	196.546	194.968	191.934
		2	0.435	191.812		
		3	0.43	196.546		
	II	1	0.44	187.237	188.866	
		2	0.445	182.815		
		3	0.43	196.546		
	III	1	0.43	196.546	191.969	
		2	0.445	182.815		
		3	0.43	196.546		
B	I	1	0.44	187.237	190.340	189.849
		2	0.44	187.237		
		3	0.43	196.546		
	II	1	0.44	187.237	188.866	
		2	0.445	182.815		
		3	0.43	196.546		
	III	1	0.44	187.237	190.340	
		2	0.44	187.237		
		3	0.43	196.546		
C	I	1	0.42	206.525	210.097	206.689
		2	0.42	206.525		
		3	0.41	217.241		
	II	1	0.43	196.546	203.199	
		2	0.42	206.525		
		3	0.42	206.525		
	III	1	0.42	206.525	206.771	
		2	0.43	196.546		
		3	0.41	217.241		



**Tabel 4.3 NILAI UJI KEKERASAN PADA FUSION LINE**

SPECIMEN		POSISI	d (mm)	HB (kg/mm <sup>2</sup> )	HB rata-rata	
A	I	1	0.45	178.593	181.846	179.438
		2	0.46	170.400		
		3	0.45	178.593		
	II	1	0.44	187.237	176.201	
		2	0.47	162.772		
		3	0.45	178.593		
	III	1	0.435	191.812	180.268	
		2	0.46	170.400		
		3	0.45	178.593		
B	I	1	0.45	178.593	181.474	179.181
		2	0.45	178.593		
		3	0.44	187.237		
	II	1	0.46	170.400	175.862	
		2	0.45	178.593		
		3	0.45	178.593		
	III	1	0.435	191.812	180.208	
		2	0.44	187.237		
		3	0.45	178.593		
C	I	1	0.43	196.546	190.561	189.453
		2	0.45	178.593		
		3	0.43	196.546		
	II	1	0.44	187.237	190.340	
		2	0.44	187.237		
		3	0.43	196.546		
	III	1	0.43	196.546	187.459	
		2	0.45	178.593		
		3	0.44	187.237		

Tabel 4.4 NILAI UJI KEKERASAN PADA WELD METAL

SPECIMEN		POSISI	d (mm)	HB (kg/mm <sup>2</sup> )	HB rata-rata	
A	I	1	0.48	155.613	155.613	157.625
		2	0.48	155.613		
		3	0.48	155.613		
	II	1	0.48	155.613	154.545	
		2	0.48	155.613		
		3	0.475	159.400		
	III	1	0.47	162.772	160.389	
		2	0.48	155.613		
		3	0.47	162.772		
B	I	1	0.48	155.613	155.757	155.453
		2	0.49	148.885		
		3	0.47	162.772		
	II	1	0.49	148.885	156.057	
		2	0.49	148.885		
		3	0.46	170.400		
	III	1	0.475	159.136	154.545	
		2	0.49	148.885		
		3	0.48	155.613		
C	I	1	0.45	178.593	173.131	171.430
		2	0.46	170.400		
		3	0.46	170.400		
	II	1	0.46	170.400	170.588	
		2	0.47	162.772		
		3	0.45	178.593		
	III	1	0.46	170.400	170.570	
		2	0.47	162.772		
		3	0.45	178.593		

## 4.5 PENGUJIAN IMPACT ( Impact Test )

### 4.5.1 UMUM

Impact test bisa diartikan suatu test yang mengukur *toughness* atau kekenyalan suatu material, yaitu kemampuan suatu material untuk menyerap energi sebelum terjadinya



Berkurangnya energi potensial dari bandul sebelum dan sesudah memukul benda uji merupakan energi yang dapat diserap benda uji tersebut.

Takik ( notch ) memegang peranan penting terhadap kekuatan impact suatu material. Dua buah benda kerja yang mempunyai luas penampang dan penahan beban yang sama bisa mempunyai kekuatan impact yang jauh berbeda akibat dari perbedaan takik yang dimiliki. Adanya takikan pada benda kerja yang berupa bentuk konfigurasi hasil desain, pengerjaan yang salah seperti diskontinuitas pada pengelasan, atau pada korosi lokal bisa bersifat sebagai pemusat konsentrasi tegangan. Adanya pusat-pusat tegangan ini bisa menyebabkan *brittle* dan material konstruksi menjadi patah pada beban dibawah *yield strength*.

*Fracture* atau kepatahan pada suatu material bisa digolongkan sebagai *brittle* atau *ductile fracture*. Suatu material yang mengalami kepatahan tanpa mengalami suatu deformasi plastis dikatakan patah secara *brittle*. Sedang apabila kepatahan didahului dengan suatu deformasi plastis dikatakan patah secara *ductile*. Material yang mengalami *brittle fracture* hanya mampu menahan energi yang kecil saja sebelum mengalami kepatahan. Ketahanan suatu material menahan energi impact sangat dipengaruhi oleh temperatur kerja. Efek dari temperatur terhadap kekuatan impact pada beberapa jenis material dapat menahan energi impact yang relatif tinggi walaupun pada temperatur rendah. Dan material baja kekuatan tinggi (*high tensile strength* ) merupakan material yang memiliki ketahanan impact yang rendah pada range temperatur yang luas pada suhu rendah. Dalam penelitian ini digunakan suhu rendah (  $0^{\circ}\text{C}$  ) untuk mendapatkan kondisi *brittle* material, sehingga lebih jelas dalam analisa studi perbandingannya.

Energi impact suatu material minimum terjadi pada tempetratur transisi. Temperatur transisi merupakan temperatur yang penting untuk diperhatikan karena pada temperatur ini

terjadi perubahan sifat dari ductile menjadi brittle ataupun sebaliknya. Apabila temperatur operasi dari suatu peralatan berada dibawah temperatur transisi dari material, maka brittle fracture bukan merupakan masalah. Ukuran kristal yang kecil dan unsur-unsur seperti Mn dan Ni cenderung memperendah tempertur transisi.

Metoda pengujian impact yang umum dipakai adalah metoda Charpy. Dan kekuatan impact suatu bahan didefinisikan sebagai energi yang digunakan untuk mematahkan batang uji dibagi dengan luas penampang pada daerah takikan. Energi untuk mematahkan batang uji dihitung berdasarkan beat dan ketinggian ayunan pendulum sebelum dan sesudah impact. Tanpa memperhatikan kehilangan energi, energi yang dipakai untuk mematahkan benda uji dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{Energi awal ( } E_o \text{ ) ; } \quad W * h_o = W * L ( 1 - \text{Cos } \alpha )$$

$$\text{Energi akhir ( } E_1 \text{ ) ; } \quad W * h_1 = W * L ( 1 - \text{Cos } \beta )$$

Energi untuk mematahkan benda uji ( E ) adalah :

$$E = E_o - E_1$$

$$W ( h_o - h_1 ) = W * L ( \text{Cos } \beta - \text{Cos } \alpha ) \quad [ \text{kgm} ]$$

Dimana : W = berat pendulum [ kg ]

$h_o$  = ketinggian pendulum sebelum diayunkan [ m ]

$h_1$  = ketinggian pendulum setelah keadaan patah [ m ]

L = jarak antara titik berat dari pendulum ke sumbu putar O [ m ]

$\alpha$  = sudut awal

$\beta$  = sudut akhir

Sehingga kekuatan impact atau *Impact Strength* ( IS ) dari suatu material uji dapat dihitung dengan fomula berikut :



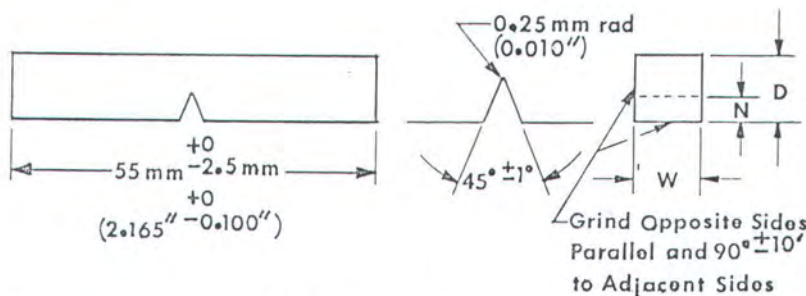
$$IS = \frac{W \cdot L (\cos \beta - \cos \alpha)}{A} \quad [ \text{kgm/mm}^2 ]$$

Dimana :  $A$  = luas penampang specimen uji pada bagian yang bertakik [  $\text{mm}^2$  ]

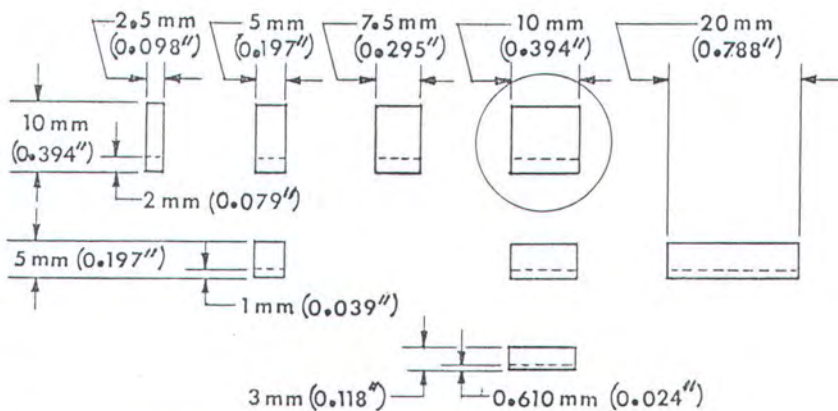
## 4.5.2 PROSEDUR PENGUJIAN IMPACT

### 1. Persiapan Specimen Pengujian

- Dengan specimen yang sama, setelah diuji kekerasan selanjutnya dilakukan pengerjaan dingin untuk pembentukan specimen Charpy Impact Test.
- Dimensi specimen Charpy Impact Test dibuat berdasarkan standar ASTM E-23 seperti pada gambar berikut.



On subsize specimens the length, notch angle, and notch radius are constant (see Fig. 6); depth ( $D$ ), notch depth ( $N$ ), and width ( $W$ ) vary as indicated below.



NOTE 1—Circled specimen is the standard specimen (see Fig. 6).

NOTE 2—Permissible variations shall be as follows:

Cross-section dimensions	±1% or ±0.075 mm (0.003 in.), whichever is smaller
Radius of notch	±0.025 mm (0.001 in.)
Depth of notch	±0.025 mm (0.001 in.)
Finish requirements	2 $\mu\text{m}$ (63 $\mu\text{in.}$ ) on notched surface and opposite face; 4 $\mu\text{m}$ (125 $\mu\text{in.}$ ) on other two surfaces

- Tiap prosedur perlakuan panas diambil 2 specimen untuk notch terletak pada weld metal dan 1 specimen notch terletak pada HAZ.
- Pemeriksaan fisik ulang pada specimen untuk menghindari kemungkinan terjadinya cacat fisik sehingga tidak sesuai dengan standarisasi yang digunakan dan pengukuran ulang pada specimen yang meliputi panjang, lebar, tebal dan kedalaman notch.
- Menghitung luas penampang ( A ) tepat pada notch.

$$A = \text{lebar} * (\text{tebal} - \text{kedalaman notch})$$

- Pengujian dilakukan pada temperatur 0°C yang dibuat dengan mencampurkan alkohol dengan es dan selanjutnya specimen dimasukkan kedalamnya selama minimal 5menit, selain itu juga digunakan termometer untuk mengontrol suhu specimen.

## 2. Pemasangan Specimen Pengujian

- Mengangkat pendulum keatas dengan sudut  $\alpha$  dan mengucinya dengan tuas kunci.
- Memasang specimen pengujian pada tempatnya dengan posisi notch tepat pada tengah-tengah, sehingga saat dilepas dari pengunci pendulum akan memukul specimen tepat pada notch-nya.
- Mengatur jarum skala penunjuk tepat pada posisi yang telah ditentukan untuk pengujian.

## 3. Pelaksanaan Pengujian

- Menekan dan memutar tuas pengunci sehingga pendulum akan terlepas dari tempatnya dan berayun kebawah dan memukul specimen uji.
- Dilihat dan dicatat besarnya energi ( Joule ) yang dilakukan pendulum untuk memukul specimen uji. Besarnya energi impact ini dapat dilihat dari angka yang ditunjukkan oleh jarum penunjuk.



4. Penanganan Setelah Pengujian

- Specimen yang telah diuji diambil dari bagian dalam alat uji impact dan diamati.
- Melakukan perhitungan dari data-data yang diperoleh dari hasil pengujian.

4.5.3 HASIL PENGUJIAN IMPACT

Tabel 4.5 HASIL UJI IMPACT DENGAN *NOTCH* PADA WELD METAL

Specimen		Luasan pada notch [mm <sup>2</sup> ]	Energi Impact [Joule]	Kuat Impact [Joule/mm <sup>2</sup> ]	Kuat Impact rata-rata
A	I	80	155	1.9375	2.0156
	II	80	167	2.0875	
B	I	80	169	2.1125	2.13125
	II	80	172	2.15	
C	I	80	145	1.8125	1.78125
	II	80	140	1.75	

Tabel 4.6 HASIL UJI IMPACT DENGAN *NOTCH* PADA *HAZ*

Specimen III	Luasan pada notch [mm <sup>2</sup> ]	Energi Impact [Joule]	Kuat Impact [Joule/mm <sup>2</sup> ]
A	80	130	1.625
B	80	136	1.7
C	80	125	1.5625

## BAB V ANALISA HASIL PENGUJIAN DAN KESIMPULAN

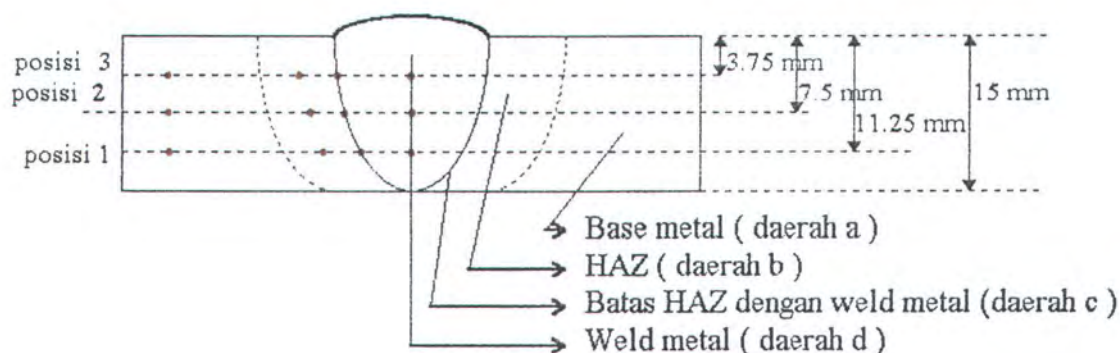
### 5.1 PENDAHULUAN

Dari hasil uji kekerasan dan uji impact terhadap ketiga macam specimen dengan prosedur heat treatment yang berbeda ( specimen A , B dan C ) telah memberikan hasil yang berbeda pula. Dalam bab ini akan dilakukan analisa perbandingan dari hasil pengujian ketiga macam specimen tersebut dalam pengaruhnya terhadap pembentukan sifat kekerasan dan ketangguhan material lasan dengan tujuan untuk menentukan perlakuan panas yang paling sesuai pada proses pengelasan baja kekuatan tinggi jenis Medium Carbon Steel dengan kuat tarik  $60 \text{ kg/mm}^2$ .

### 5.2 ANALISA HASIL PENGUJIAN

#### 5.2.1 ANALISA HASIL UJI KEKERASAN

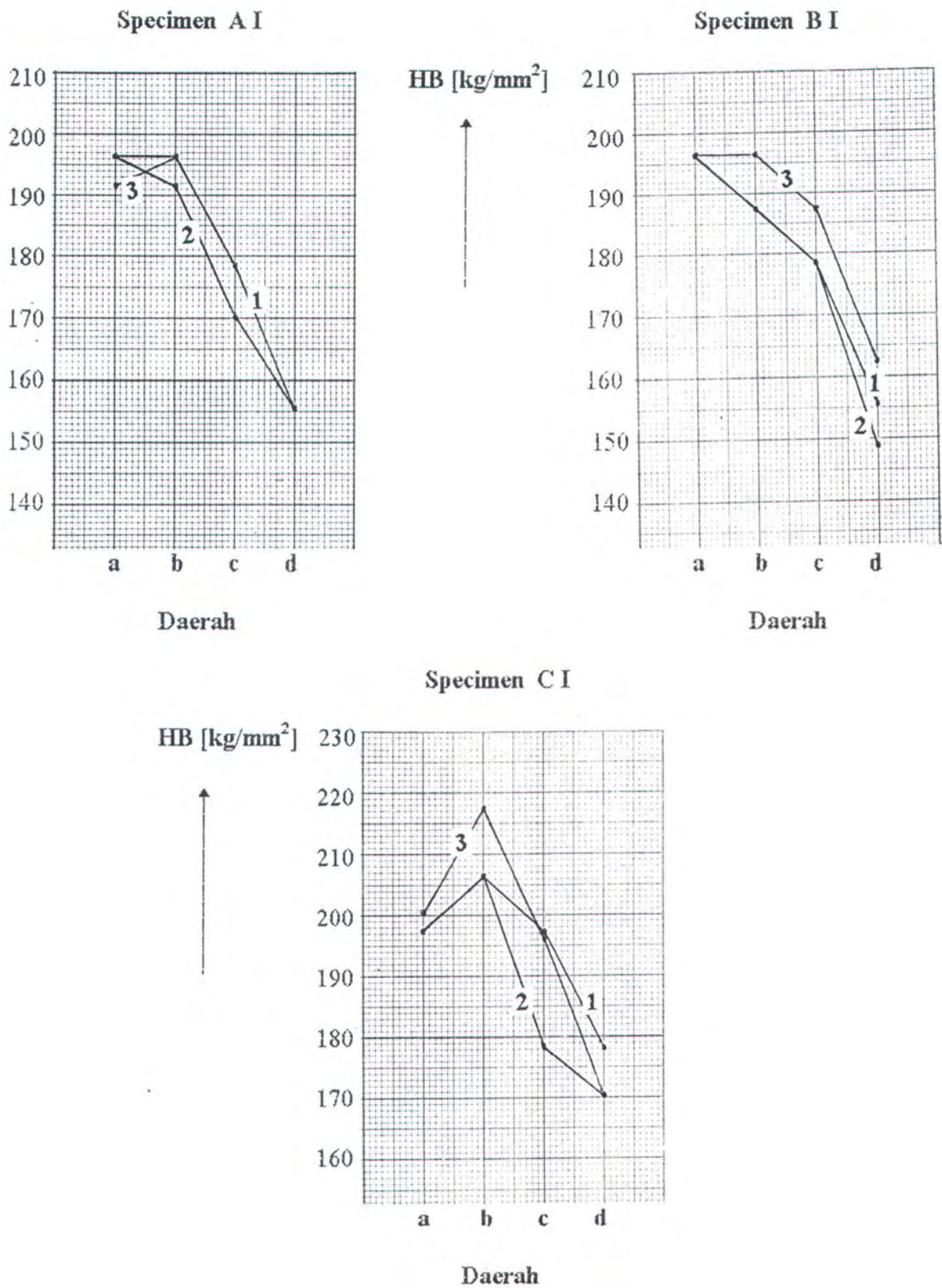
Untuk lebih memperjelas dalam menganalisa berikut ini dari data hasil uji kekerasan di plotkan ke grafik kekerasan terhadap titik posisi dan daerah pengamatan seperti gambar berikut.



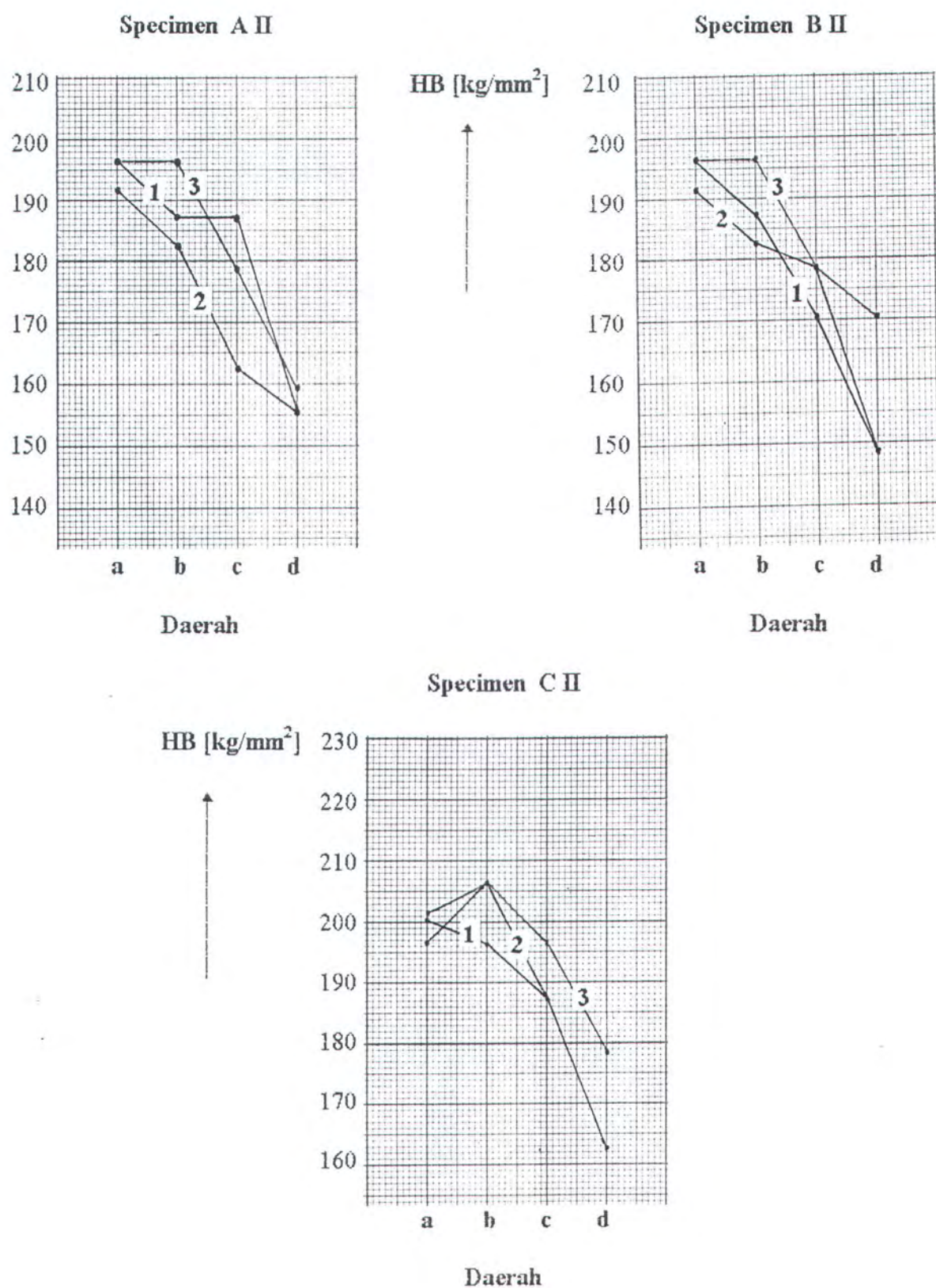
Gbr. 5.1 Posisi dan Daerah Titik Uji Kekerasan



Gbr. 5.2 Grafik Kekerasan - Daerah dan Posisi Specimen I

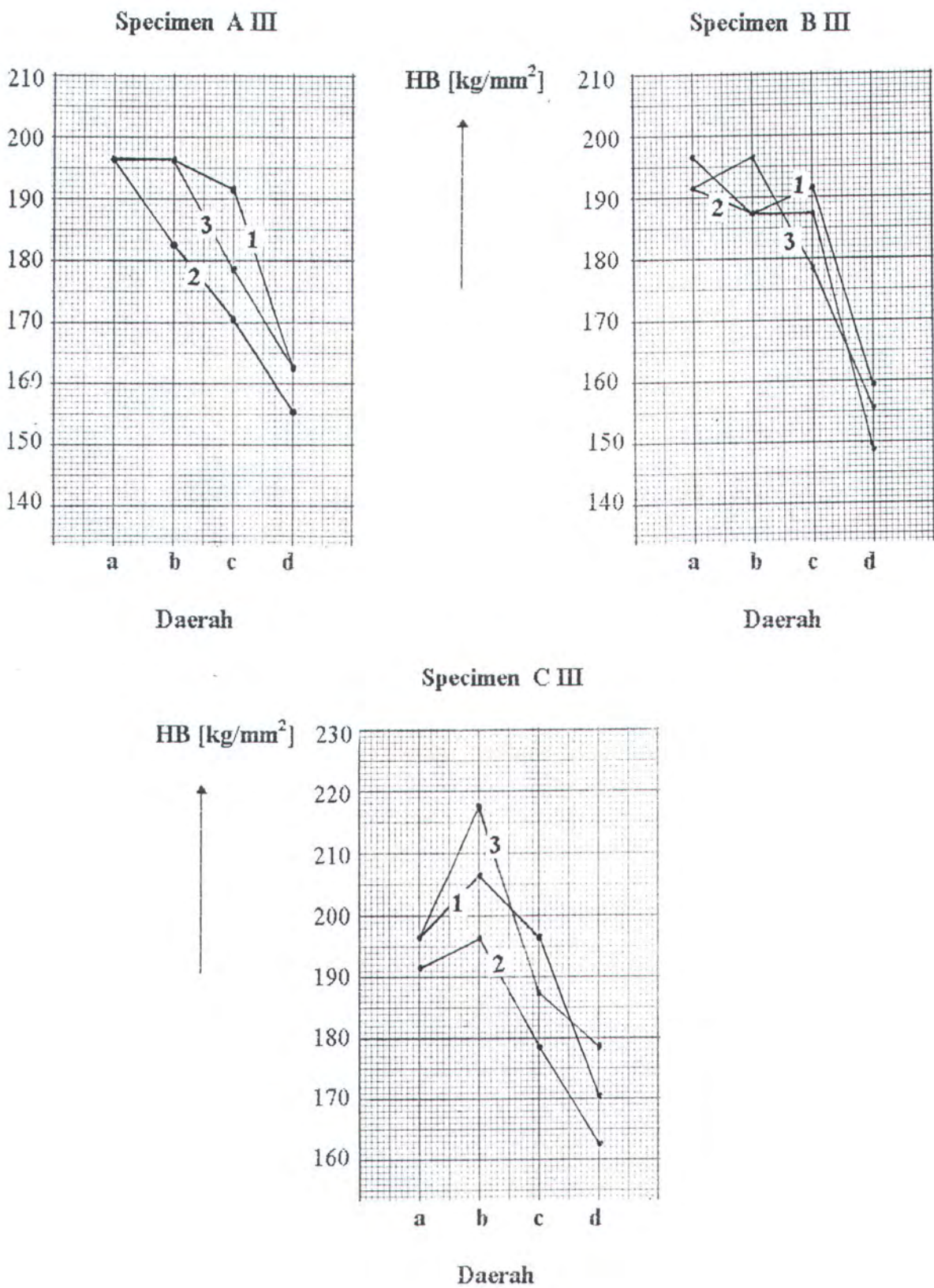


Gbr. 5.3 Grafik Kekerasan - Daerah dan Posisi Specimen II





Gbr. 5.4 Grafik Kekerasan - Daerah dan Posisi Specimen III



Kekerasan material semakin tinggi berarti kecenderungan membentuk struktur yang martensit yang memiliki sifat brittle dan menurunkan ductility.

Secara umum dari grafik Kekerasan - Daerah dan Posisi titik pengamatan material dengan pengelasan SMAW mempunyai kekerasan yang berbeda-beda pada daerah base metal, HAZ, fusion line dan weld metal. Perbedaan ini disebabkan karena adanya perbedaan *peak temperature* pada daerah-daerah tersebut, sehingga *cooling rate*-nya juga berbeda yang akhirnya kekerasannyapun juga berbeda. Daerah weld metal memiliki kekerasan yang paling rendah dibanding daerah lain. Hal ini disebabkan elektrode yang digunakan dalam pengelasan memiliki kekuatan yang lebih rendah jika dibanding kekuatan dari logam induknya. Sedang daerah HAZ karena merupakan daerah pengaruh panas yang strukturnya berubah secara berangsur dari struktur logam induk ke struktur logam las sehingga kekerasannyapun juga cenderung berada antara daerah weld metal dan base metal, demikian juga untuk daerah fusion line.

Kekerasan material berdasarkan posisinya terlihat pada posisi 1 dan 3 cenderung lebih keras jika dibanding pada posisi 2. Hal ini disebabkan pengelasan dilakukan dengan sistim layer (dalam hal ini 5 layer) sehingga layer tengah (posisi 2) memiliki pre-heat dari interpas layer dibawahnya dan post heat dari interpas layer diatasnya, disamping juga karena pengaruh daerah tepi.

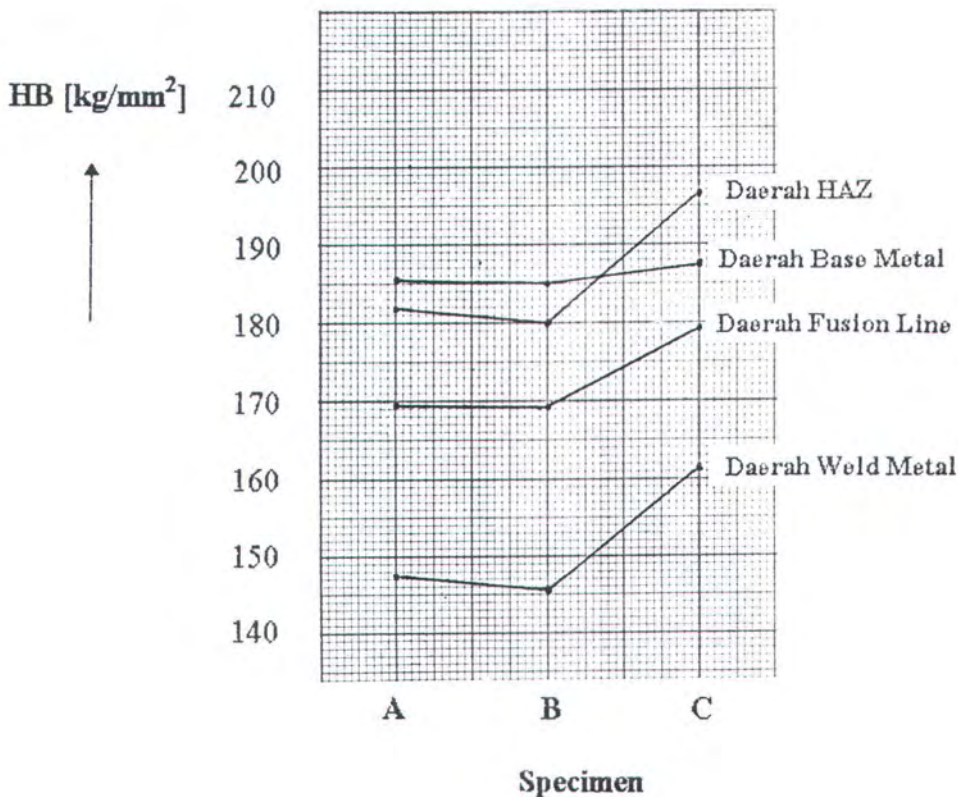
Pada dasarnya perbedaan prosedur heat tretment dari specimen A , B dan C terletak pada pemberian pre-heat dan post weld heat treatment (PWHT). Dimana specimen A dan B mengalami PWHT secara Stress Relief Annealing , hanya saja specimen A tanpa pre-heat dan specimen B dengan pre-heat. Sedang specimen C tanpa mengalami pre-heat dan pendinginan secara nomalising (dengan udara biasa).



Pengerasan daerah HAZ sangat terlihat pada specimen C dibanding specimen A dan B. Hal ini menunjukkan pengelasan baja karbon kekuatan tinggi sangat peka terhadap terjadinya pengerasan terutama pada daerah HAZ dan hal ini dapat dihindari dengan post weld annealing yang terbukti pada specimen A dan B. Dimana kekerasan daerah HAZ cenderung sama atau bahkan dibawahnya dengan logam induk.

Untuk lebih memperjelas perbedaan nilai kekerasan dari ketiga macam prosedur heat treatment berikut ini dari data nilai rata-rata kekerasan hasil pengujian diplotkan ke grafik Kekerasan - Specimen.

Gbr. 5.5 Grafik Rata-rata Kekerasan - Specimen



Dari grafik diatas terlihat bahwasanya specimen C memiliki kekerasan paling tinggi pada semua daerah pengamatan. Hal ini disebabkan karena pendinginan dengan normalising (dalam hal ini  $\pm 45$  menit untuk mencapai suhu kamar) jauh lebih cepat dibanding pendinginan pada aniling. Karena pendinginan yang lebih cepat pada specimen C ini sehingga kesempatan untuk pembentukan pro-eutectoid ferit lebih sedikit dan austenit yang tersisa akan membentuk perlit yang lebih banyak. Dengan demikian karbida-karbida yang terjadi juga banyak, dimana hal ini menyebabkan pendinginan dengan normalising menghasilkan material yang lebih keras dibandingkan pendinginan dengan aniling. Sedang sedikitnya pro-eutectoid ferit mengakibatkan turunnya ductility material.

Specimen A dan B dengan post weld annealing cenderung mengalami penurunan kekerasan. Hal ini disebabkan temperatur aniling  $680^{\circ}\text{C}$  dan ditahan selama 1 jam untuk mencapai suhu  $590^{\circ}\text{C}$  mengakibatkan temperatur kritis antara  $A_1 - A_3$  (untuk baja hypoeutectoid yang digunakan dalam penelitian ini ) tercapai sehingga atom-atom cukup untuk berdifusi untuk membentuk komposisi austenit yang lebih homogen. Dan pendinginan selanjutnya dilakukan didalam oven sehingga tercapai kecepatan pendinginan yang cukup lambat (  $\pm 2.5$  jam untuk mencapai suhu  $315^{\circ}\text{C}$  ). Sehingga struktur akhir yang terbentuk adalah butir-butir kristal ferit dan perlit yang halus yang dapat memperbaiki ductility material.

Pemberian pre-heat pada specimen B ternyata tidak memberikan penurunan kekerasan yang berarti. Namun dari hasil uji impact terlihat sekali perbedaan kekuatan impact antara specimen A dan specimen B. Hal ini disebabkan pemberian pre-heat sebelum pengelasan pada specimen B membantu melepaskan hidrogen yang terserap material, sehingga mengurangi terjadinya difusi hidrogen yang dapat mengurangi terjadinya cacat-

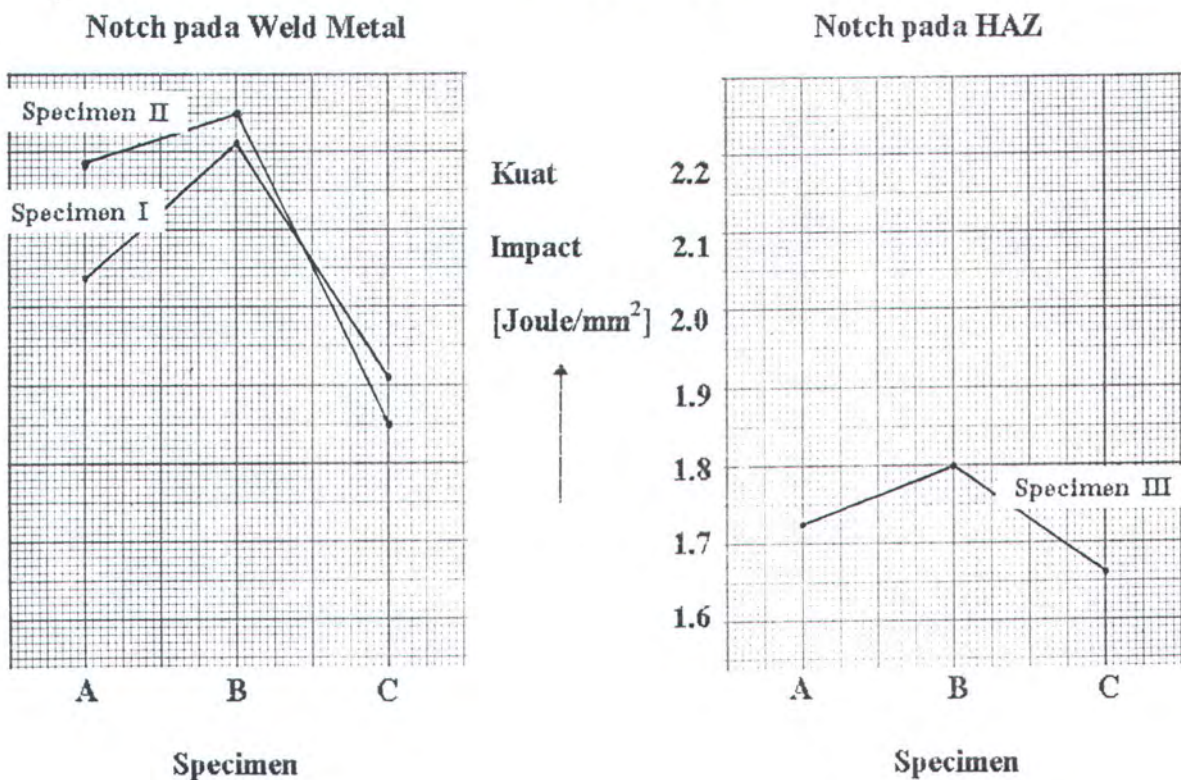


cacat las seperti retak las dan porosity. Sehingga pemberian pre-heat ini lebih banyak memberikan kenaikan ductility material.

### 5.2.2 ANALISA HASIL UJI IMPACT

Uji impact dilakukan pada suhu  $0^{\circ}\text{C}$  dengan tujuan untuk mendapatkan kondisi brittle material sehingga mempermudah dalam analisa perbandingan karena lebih memperjelas perbedaan penampang patahan. Dan berikut ini diplotkan grafik nilai Kuat Impact terhadap Specimen A, B dan C dari data hasil uji Impact.

Gbr. 5.6 Grafik Kuat Impact - Specimen



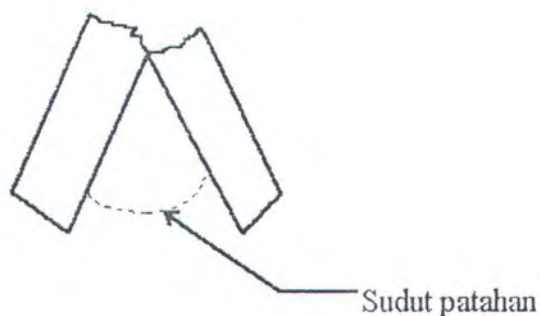
Dari grafik diatas terlihat sekali perbedaan nilai energi impact antara specimen A, B dan C. Hal ini disebabkan material uji yang digunakan termasuk High Tensile Steel dengan jenis Medium Carbon Steel. Dimana baja dengan kadar karbon lebih dari 0.3% memiliki hardenability yang tinggi [reff.10]. Sehingga hal ini menyebabkan pengerasan yang terjadi sangat variatif akibat adanya perlakuan panas yang berbeda. Dan pengerasan pada HAZ dan weld metal sangat mempengaruhi material lasan.

Specimen C memiliki nilai energi impact paling rendah. Hal ini menunjukkan specimen dengan pendinginan normalising terjadi pengerasan yang tinggi pada daerah weld metal dan HAZ sehingga menyebabkan material sangat brittle. Sedangkan specimen B memiliki ductility yang lebih baik dibanding specimen A. Hal ini menunjukkan disamping perlakuan panas post weld annealing pemberian pre-heat juga membantu mengurangi difusi hidrogen sehingga mengurangi terjadinya weld defect seperti retak las dan porosity yang juga menyebabkan brittle material disamping adanya pengerasan pada Weldmetal dan HAZ.

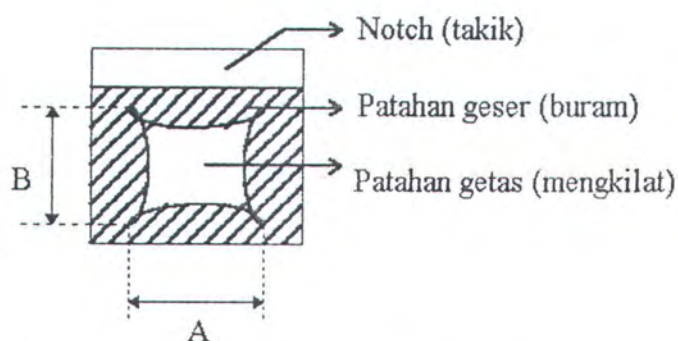
Untuk lebih memperkuat hasil analisa perbandingan Impact test diatas berikut ini ditunjukkan prosentase penampang patahan geser dan sudut yang dibentuk dari hasil uji impact yang diambil satu specimen untuk masing-masing prosedur heat treatment dengan notch pada weld metal. Penentuan Prosentase patahan geser dilakukukan dengan cara interpolasi yang berdasarkan pada Tabel 1 dan Tabel 2 ASTM E 23 ( seperti terlihat pada lampiran I ).

Semakin ductile suatu material semakin besar prosentase patahan geser demikian juga sebaliknya. Dan hal ini telah terbukti pada prosentase patahan geser hasil pengujian Impact specimen A , B dan C berikut ini.





Gbr. 5.7 Penampang samping Specimen setelah Diuji Impact



Gbr. 5.8 Penampang Patahan Hasil Uji Impact

Tabel 5.1 Prosentase dan Sudut Patahan Hasil Uji Impact

	A [mm]	B [mm]	Prosentase Patahan Geser [%]	Sudut Patahan [ ° ]
Specimen A	8.8	7.65	15.92	54
Specimen B	8.7	6.85	25.62	63
Specimen C	8.8	8	12	52

Dan untuk lebih memperkuat hasil analisa perbandingan diatas berikut ini ditampilkan gambar Photo Cloce-Up penampang patahan dari uji impact dan penampang melintang hasil las dari ketiga specimen A , B dan C dalam lampiran.

### 5.3 KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.3.1 KESIMPULAN

Dari hasil analisa dan pengamatan hasil pengujian mengenai pengaruh heat treatment pada pengelasan baja karbon kekuatan tinggi (  $60 \text{ kg/mm}^2$  ) terhadap kekerasan dan ketangguhan lasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari semua rangkaian percobaan yang dilakukan telah memberikan hasil yang saling mendukung, hal ini menunjukkan bahwa percobaan dalam penelitian Tugas Akhir ini cukup berhasil.
2. Didalam konstruksi-konstruksi offshore, pressure vessel maupun konstruksi lain pada kapal yang memerlukan kekuatan baja yang tinggi menuntut adanya ductility dan kekuatan tarik yang tinggi. Hal ini berlawanan dengan baja kekuatan tinggi yang diperlukan dalam mesin-mesin perkakas yang menuntut adanya kekerasan yang tinggi. Sehingga pengaruh perbaikan yang dimaksudkan dalam penelitian ini adalah perbaikan dalam hal ductility material. Dan dari hasil percobaan menunjukkan perbedaan ductility yang cukup besar antara specimen lasan tanpa perlakuan panas ( Specimen C ) dengan specimen lasan dengan perlakuan panas ( Specimen A dan B ).  
Prosentase pengaruh perbaikan ductility dari hasil uji impact sebesar 16.5 %.  
Dan prosentase penurunan nilai kekerasan sebesar 5.5 %.
3. Perbedaan pemberian perlakuan panas pre-heat antara specimen A dan B pada uji kekerasan tidak memberikan perbedaan yang berarti, sedang pada uji impact perbedaan keduanya sangat jelas. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan panas dari Stress Relief Heat Treatment dari AWS pada pengelasan baja karbon kekuatan tinggi yang



menyatakan bahwa sampai dengan ketebalan 19 mm tidak memerlukan pre-heat adalah kurang memberikan hasil las yang memuaskan dalam hal ductility. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pemberian pre-heat pada pengelasan baja karbon kekuatan tinggi tetap diperlukan dan suhu pre-heat ini sangat tergantung dari kadar karbon pada baja (seperti pada Tabel 3.1.).

### 5.3.2 SARAN

Suatu penelitian tentu tidak akan bisa secara mutlak memberikan suatu kebenaran dalam menyelesaikan permasalahan. Terlepas dari benar dan tidaknya hasil penelitian ini, maka penulis memberikan saran sebagai berikut :

- Untuk lebih melengkapi hasil penelitian perlu kiranya dilakukan analisa terhadap struktur mikro dengan melakukan pengujian metallography atau photo micro structur.
- Banyak parameter dalam pengelasan baja karbon yang mempengaruhi sifat mekanik hasil las selain pengaruh dari perlakuan panas. Parameter-parameter tersebut antara lain komposisi kimia baja, suhu pengujian, kecepatan dan arus pengelasan, bentuk groove, elektrode dan lain-lain. Sehingga perlu kiranya dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh dari parameter-parameter tersebut.

---

### DAFTAR PUSTAKA

1. ANSI / AWS D.1.1 - 90 , **Structural Welding Code Steel** , twelfth edition , United States of America , 1990.
2. ANSI / ASME BPV - IX , **Welding and Brazing Qualification** , section IX , The American Society of Mechanical Engineers , 1980.
3. ASTM , **Metal Mechanical Testing** , Volume 03.01 E 23 , Annual Book of ASTM Standards , 1986.
4. Wiryosumarto, H dan Okumura, T , **Teknologi Pengelasan Logam** , PT. Pradnya Paramita , Jakarta 1981.
5. Bradbury , E.J , **Dasar Metalurgi Untuk Rekayasawan** , PT. Gramedia Pustaka Utama , Jakarta.
6. Sriwidharto , **Petunjuk Kerja Las** , PT. Pradnya Paramita , Jakarta 1987.
7. Kenyon, W dan Ginting , **Dasar-dasar Pengelasan** , Erlangga , 1985.
8. Soeweify , **Diklat Teknik Las** , FTK - ITS.
9. Trilestariningtias, B , TA. **Analisa Perbandingan Fatigue Corrosion Baja Lunak Dengan Baja Kekuatan Tinggi** , T. Perkapalan FTK - ITS , 1995.
10. Suherman, W , **Diklat Ilmu Logam I** , T. Mesin FTI - ITS.
11. Suherman, W , **Diklat Prinsip-prinsip Perlakuan Panas** , T. Mesin FTI - ITS.
12. Leonard, P , **Hand Book AWS Welding Teknologi** , Eighth Edition Volume 1.



## LAMPIRAN I

TABLE 1 Percent Shear for Measurements Made in Millimetres

NOTE—100 % shear is to be reported when either *A* or *B* is zero.

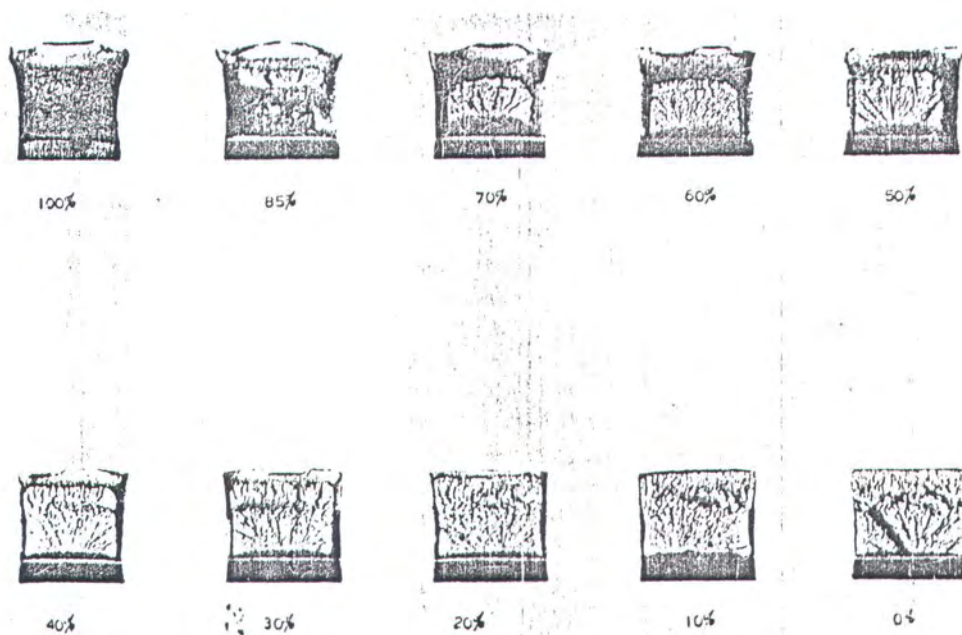
Dimension <i>B</i> , mm	Dimension <i>A</i> , mm																		
	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10
1.0	99	98	98	97	96	96	95	94	94	93	92	92	91	91	90	89	89	88	88
1.5	98	97	96	95	94	93	92	92	91	90	89	88	87	86	85	84	83	82	81
2.0	98	96	95	94	92	91	90	89	88	86	85	84	82	81	80	79	77	76	75
2.5	97	95	94	92	91	89	88	86	84	83	81	80	78	77	75	73	72	70	69
3.0	96	94	92	91	89	87	85	83	81	79	77	76	74	72	70	68	66	64	62
3.5	96	93	91	89	87	85	82	80	78	76	74	72	69	67	65	63	61	58	56
4.0	95	92	90	88	85	82	80	77	75	72	70	67	65	62	60	57	55	52	50
4.5	94	92	89	86	83	80	77	75	72	69	66	63	61	58	55	52	49	46	44
5.0	94	91	88	85	81	78	75	72	69	66	62	59	56	53	50	47	44	41	37
5.5	93	90	86	83	79	76	72	69	66	62	59	55	52	48	45	42	38	35	31
6.0	92	89	85	81	77	74	70	66	62	59	55	51	47	44	40	36	33	29	25
6.5	92	88	84	80	76	72	67	63	59	55	51	47	43	39	35	31	27	23	19
7.0	91	87	82	78	74	69	65	61	56	52	47	43	39	34	30	26	21	17	12
7.5	91	86	81	77	72	67	62	58	53	48	44	39	34	30	25	20	16	11	6
8.0	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0

TABLE 2 Percent Shear for Measurements Made in Inches

NOTE—100 % shear is to be reported when either *A* or *B* is zero.

Dimension <i>B</i> , in.	Dimension <i>A</i> , in.																
	0.05	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34	0.36	0.38	0.40
0.05	98	96	95	94	94	93	92	91	90	90	89	88	87	86	85	85	84
0.10	96	92	90	89	87	85	84	82	81	79	77	76	74	73	71	69	68
0.12	95	90	88	86	85	83	81	79	77	75	73	71	69	67	65	63	61
0.14	94	89	86	84	82	80	77	75	73	71	68	66	64	62	59	57	55
0.16	94	87	85	82	79	77	74	72	69	67	64	61	59	56	53	51	48
0.18	93	85	83	80	77	74	72	68	65	62	59	56	54	51	48	45	42
0.20	92	84	81	77	74	72	68	65	61	58	55	52	48	45	42	39	36
0.22	91	82	79	75	72	68	65	61	57	54	50	47	43	40	36	33	29
0.24	90	81	77	73	69	65	61	57	54	50	46	42	38	34	30	27	23
0.26	90	79	75	71	67	62	58	54	50	46	41	37	33	29	25	20	16
0.28	89	77	73	68	64	59	55	50	46	41	37	32	28	23	18	14	10
0.30	88	76	71	66	61	56	52	47	42	37	32	27	23	18	13	9	3
0.31	88	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	18	10	5	0

## LAMPIRAN II



(a) Fracture Appearance Charts and Percent Shear Fracture Comparator



(b) Guide for Estimating Fracture Appearance Using SWAG Method

FIG. 15 Fracture Appearance



### LAMPIRAN III

#### 4.4 Stress Relief Heat Treatment

4.4.1 Where required by the contract drawings or specifications, welded assemblies shall be stress-relieved by heat treating.<sup>9</sup> Finish machining shall preferably be done after stress relieving.

4.4.2 The stress relief treatment shall conform to the following requirements:

(1) The temperature of the furnace shall not exceed 600° F (315° C) at the time the welded assembly is placed in it.

(2) Above 600° F, the rate of heating shall not be more than 400° F (200° C) per hour divided by the maximum metal thickness of the thicker part, in inches, but in no case more than 400° F per hour.<sup>10</sup> During the heating period, variations in temperature throughout the portion of the part being heated shall be no greater than 250° F (140° C) within any 15 ft (4.6 m) interval of length.

(3) After a maximum temperature of 1100° F (590° C) is reached on quenched and tempered steels, or a mean temperature range between 1100 and 1200° F (650° C) is reached on other steels, the temperature of the assembly shall be held within the specified limits for a time not less than specified in Table 4.4, based on weld thickness. When the specified stress relief is for dimensional stability, the holding time shall be not less than specified in Table 4.4, based on the thickness of the thicker part. During the holding period there shall be no difference greater than 150° F (84° C) between the highest and lowest temperature throughout the portion of the assembly being heated.

(4) Above 600° F, cooling shall be done in a closed furnace or cooling chamber at a rate no greater than 500° F (260° C) per hour divided by the maximum metal

thickness of the thicker part in inches, but in no case more than 500° F per hour. From 600° F, the assembly may be cooled in still air.

4.4.3 Alternatively, when it is impractical to postweld heat treat to the temperature limitations stated in 4.4.2, welded assemblies may be stress-relieved at lower temperatures for longer periods of time, as given in Table 4.5.

#### Part B

#### Shielded Metal Arc Welding

#### 4.5 Electrodes for Shielded Metal Arc Welding

4.5.1 Electrodes for shielded metal arc welding shall conform to the requirements of the latest edition of ANSI/AWS A5.1, *Specification for Mild Steel Covered Arc Welding Electrodes*, or to the requirements of ANSI/AWS A5.5, *Specification for Low Alloy Steel Covered Arc Welding Electrodes*.

4.5.2 Low Hydrogen Electrode Storage Conditions. All electrodes having low hydrogen coverings conforming to ANSI/AWS A5.1 shall be purchased in hermetically sealed containers or shall be dried for at least two hours between 450° F (230° C) and 500° F (260° C) before they are used. Electrodes having a low hydrogen covering conforming to ANSI/AWS A5.5 shall be purchased in

Table 4.4  
Minimum Holding Time (see 4.4.2)

1/4 in. (6.4 mm) or Less	Over 1/4 in. (6.4 mm) Through 2 in. (50.8 mm)	Over 2 in. (50.8 mm)
15 min	1 hr/in.	2 hrs plus 15 min for each additional in. over 2 in. (50.8 mm)

Table 4.5  
Alternate Stress-relief Heat Treatment (see 4.4.3)

Decrease in Temperature below Minimum Specified Temperature, $\Delta^{\circ}\text{F}$	Decrease in Temperature, $\Delta^{\circ}\text{C}$	Minimum Holding Time at Decreased Temperature, Hours per Inch (25.4 mm) of Thickness
50	28	2
100	56	3
150	84	5
200	112	10


9. Stress relieving of weldments of A514, A517, A709 Grades 100 and 100W, and A710 steels is not generally recommended. Stress relieving may be necessary for those applications where weldments must retain dimensional stability during machining or where stress corrosion may be involved, neither condition being unique to weldments involving A514, A517, A709 Grades 100 and 100W, and A710 steels. However, the results of notch toughness tests have shown that postweld heat treatment may actually impair weld metal and heat-affected zone toughness, and intergranular cracking may sometimes occur in the grain-coarsened region of the weld heat-affected zone.

10. The rates of heating and cooling need not be less than 100° F (55° C) per hour. However, in all cases, consideration of closed chambers and complex structures may indicate reduced rates of heating and cooling to avoid structural damage due to excessive thermal gradients.



# BOHLER Machinery Steels

LAMPIRAN IV

	BÖHLER Grade	Chemical Composition (Average %)								Standarts
		C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W	
V-320	VCL 140	0.41	0.30	0.70	1.1	0.20	-	-	-	DIN : 1.7223 42 CrMo 4 AISI : B7M/4140H BS : ~ 708 A 42 AFNOR : ~ Y 42 CD 4 UNI : 42 CrNi 4 SIS : 2244 JIS : SCM 4 SCM 4 M
Ø	GY N/mm²	GV N/mm²			Supplied in the prehardened and tempered condition					
- 16	900	1100 - 1300								
16 - 40	750	1000 - 1200								
40 - 100	650	900 - 1100								
100 - 160	550	800 - 950								
160 - 250	500	750 - 900								
V - 155	VCN 150	0.34	0.30	0.50	1.5	0.20	1.5	-	-	DIN : 1.6582 34 CrNiMo 6 134 AISI : - BS : ~ 816 M 40 AFNOR : (~ 35 NCD 6) UNI : ~ 35 NCD 7 SIS : ~ 2541 JIS : ~ SNCM 1
Ø	GY N/mm²	GV N/mm²			Supplied in the prehardened and tempered condition					
- 16	1000	1200 - 1400								
16 - 40	900	1100 - 1300								
40 - 100	800	1000 - 1200								
100 - 160	700	900 - 1100								
160 - 250	600	800 - 950								

## BÖHLER Carbon Tool Steels

BOHLER	Chemical Composition (Average %)
--------	----------------------------------

Heat treatment Process	Temperature	Applications					
Hot forming Annealing Stress relieving Hardening Normalizing	850 - 1050 °C 680 - 720 °C ± 650 °C 830 - 860 °C 840 - 880 °C	Suited for heat treated, parts of medium cross section. Extensively used in the constructing of gears and engines; crank-shafts, spindles, shafts for pumps and gearings. Suitable for flame and induction hardening.					
Quenching Agents	HRC after hardening	Average HRC after tempering at °C					
Oil	54 - 57	100°	200°	300°	400°	500°	600°
		57	56	53	49	42	38
Heat treatment process	Temperature	Applications					
Hot forming Annealing Stress relieving Hardening Normalizing	850 - 1050 °C 650 - 700 °C ± 650 °C 830 - 860 °C 850 - 880 °C	Suited for heat treated parts of large sections planetary gearings; propeller - steering - crank shafts, aircraft parts.					
Quenching Agents	HRC after hardening	Average HRC after tempering at °C					
Oil	54 - 57	100°	200°	300°	400°	500°	600°
		57	56	53	49	42	38

Heat treatment process	Temperature	Applications
------------------------	-------------	--------------





# FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN ITS

## JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN

### DAFTAR KEMAJUAN TUGAS AKHIR (NA 1701)

Nama mahasiswa : . M u h y u d i . . . . .  
N.R.P. : . 4914100397 . . . . .  
Tugas diberikan : Semester Gasal 1995 . . / 19 96 .  
Tanggal mulai tugas : 21 September 1995 . . . . .  
Tanggal selesai tugas : 01 Maret 1996 . . . . .  
Dosen Pembimbing : 1. Ir. Soewify, M.Eng . . . . .  
2. . . . .

Tanggal	Uraian Kemajuan Tugas	Tanda Tangan
4/95 10	Latar belakang pemilihan judul	
26/95 10	BAB. PENDAHULUAN Acc	
9/95 11	BAB II Selesai	
16/95 11	BAB III Selesai	
23/95 11	Menentukan ukuran specimen dan Welding procedure untuk 3 specimen	
7/95 12	Pemotongan material di Lab. Perkapas Dingin Poltek - ITS	
22/95 12	Pengelasan specimen dgn perlakuan panas yg berbeda, di Lab. Produksi dan Lab. Konstruksi Kekuatan FTK - ITS	
5/96 1	Pemotongan Specimen Lasan menjadi 9 specimen uji, di Lab. Perkapas Poltek - ITS	

